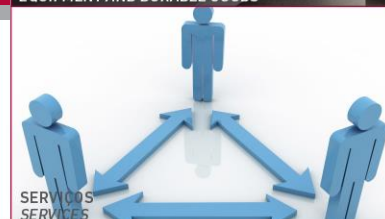
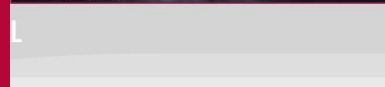
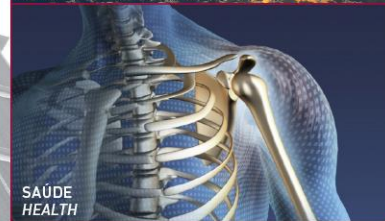


PROJETO TEGOPI GUINCHO ABERTO

ARTIGO TÉCNICO

Aplicação de metodologias de Modularidade
e EcoDesign no Desenvolvimento de um
Sistema de Elevação de Grande Porte



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



U.PORTO

Esta página foi deixada propositadamente em branco

Autores

INEGI

Nuno Moita
Jorge Teixeira da Silva
Tiago Alves
António Baptista
João Paulo Pereira

TEGOPI SA

João Gomes
Rodrigo Massa
Tiago Vilas Boas

INEGI – Instituto de Ciências e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial

Campus da FEUP | Rua Dr. Roberto Frias, 400 | 4200-465 Porto | PORTUGAL
Tel: +351 22 957 87 10 | Fax: +351 22 953 73 52 | E-mail: inegi@inegi.up.pt | Site: www.inegi.up.pt

Índice

1.	Enquadramento.....	7
2.	Modularidade	9
2.1	Metodologias de Modularidade	11
2.1.1	<i>Design Structure Matrix (DSM)</i>	11
2.1.2	Cambridge Advanced Modeller (CAM) e função Clustering	11
2.2	<i>Key Performance Indicators [KPIs]</i>	14
2.2.1	<i>Singular value modularity index (SMI)</i>	15
2.2.2	<i>Non zero fraction (NZF)</i>	17
2.3	Índice de Modularidade e Reconfigurabilidade – Parâmetros desenvolvidos pelo INEGI	17
2.3.1	Índice de Modularidade – <i>MD</i>	17
2.3.2	Índice de Reconfigurabilidade – <i>RD</i>	21
2.4	Caso Estudo - Guincho Aberto	23
2.4.1	Resultados: <i>Key Performance Indicators [KPIs]</i>	28
2.5	Referências.....	29
3.	<i>EcoDesign</i>	31
3.1	Metodologia de <i>EcoDesign</i> Utilizada	32
3.2	Ciclo de Vida do Equipamento.....	33
3.3	Exclusões Gerais do Estudo	34
3.4	Método de Cálculo de Impacte Ambiental	35
3.5	Equipamento do Estudo e Unidade Funcional	39
3.6	Fase de Uso – Energia Consumida	40
3.7	Avaliação do Ciclo de Vida do Equipamento (<i>LCA</i>).....	41
3.7.1	<i>LCA</i> do Conceito A	41
3.7.2	<i>LCA</i> do Conceito B.....	45
3.8	Conclusões	50
3.9	Referências.....	53
4.	Considerações Finais	55

1. ENQUADRAMENTO

A globalização da indústria originou mercados muito competitivos em praticamente todas as áreas de atividade, onde, a dos sistemas de elevação de grande porte não é exceção. Desta forma as empresas têm que se tornar cada vez mais flexíveis de modo a poderem competir entre si, e em última instância, a poderem sobreviver. Uma das estratégias para alcançar a desejada flexibilidade, que se traduz por exemplo em permitir reduzir prazos de entrega ao cliente, consiste em aplicar um elevado número de componentes normalizados (standardizados) e os mesmos formarem módulos individuais facilmente intermutáveis no equipamento global.

Por outro lado, o desenvolvimento de bens de equipamento mais ecoeficientes, tem-se revelado como uma prática cada vez mais corrente por parte das empresas, permitindo a conceção de bens de equipamentos com uma contribuição a nível de impacte ambiental cada vez mais reduzida para as mesmas características funcionais, melhorando consequentemente o respetivo desempenho ambiental ao longo do seu ciclo de vida.

O presente documento tem como principal objetivo promover a divulgação dos principais resultados alcançados no âmbito do Projeto TEGOPI SA – Guincho Aberto sobre o qual foram utilizadas duas metodologias de desenvolvimento do produto inovadoras no projeto do novo Sistema de Elevação de Grande Porte, *Modularidade* e o *EcoDesign*, permitindo à TEGOPI SA destacar-se com o seu novo produto no mercado em que opera.

2. MODULARIDADE

A normalização (ou standardização) entende-se como algo que não está sujeito a variações e tenta otimizar a relação funcional entre conjuntos e subconjuntos de forma a reduzir a variedade de componentes utilizados em cada modelo, abrangendo a maior gama possível. Deve-se igualmente garantir que seja mantido um compromisso de eficácia/qualidade tendo sempre a preocupação da redução de custos para a gama de produtos a standardizar. A normalização tem várias vantagens como por exemplo: a simplificação do processo em todas as fases de conceção do produto; escolha mais simples dos materiais a utilizar permitindo uma otimização dos custos e *stocks*; otimização dos seus recursos (máquinas e homens); e simplificação dos *layouts* produtivos, entre outras.

A metodologia a aplicar para standardizar um dado componente tem três etapas principais: especificação, unificação, simplificação.

A especificação passa por um levantamento dos conjuntos que compõem a estrutura em questão e sua gama. A unificação escolhe as formas e as dimensões ideais sem comprometer a funcionamento do componente. A simplificação, por sua vez, elimina duplicações e adapta um mesmo conjunto a uma gama o mais abrangente possível, respeitando as considerações de projeto e um coeficiente razoável de fiabilidade e segurança do componente.

O processo de standardização pode ser implementado usando o conceito “Lean Thinking”, reduzindo ou eliminando desperdícios tais como: a produção em excesso; as pessoas em espera; a movimentação de materiais ou produtos semi-acabados; o sobreprocessamento; os erros e os defeitos.

O “pensamento lean” consiste num conjunto de conceitos e princípios, que têm como objetivo simplificar o modo como uma empresa produz valor enquanto se tentam eliminar todos os seus desperdícios (Pinto 2009) e (Vaughn, Fernandes et al. 2002).

O conceito de modularização tem origem no trabalho de Herbert Simon (1955;1984), onde o autor aborda a possibilidade de se dividir o conceito da compreensão da informação nas diferentes áreas duma organização empresarial. Partindo deste conceito alguns autores (Poledrini 2008) consideram a modularização como uma estratégia para a produção de alta tecnologia de produtos constituídos por multi-componentes que permitam a implementação de diferentes de módulos.

Uma definição possível para modularização consiste na divisão de um determinado produto em partes menores (módulos) independentes entre si, física e funcionalmente, que podem ser integrados em diferentes sistemas conduzindo a múltiplas funcionalidades.

A modularização tenta reduzir a complexidade relativamente aos módulos aplicados, sendo que cada módulo não interfere na especificação dos restantes. A estratégia modular, tenta minimizar os problemas tecnológicos e organizacionais que de outra maneira poderiam ser mais difíceis de resolver. Ao separar-se as diferentes tecnologias

em vários módulos, divide-se igualmente as várias etapas de produção dum produto final. Ao dividir um produto em vários módulos, cada módulo deve ter o mínimo de interações entre os seus principais subsistemas. Este conceito vai ao encontro da teoria da modularização que diz que um produto necessita de um conhecimento mínimo da atividade do projeto, sendo possível especificar num único módulo que é independente de todo o resto (Baldwin and Clark 2004).

O conceito de arquitetura de um produto concentra-se na especificação das diferentes interfaces que unem os diversos componentes e na definição das suas funções, contribuindo para um determinado funcionamento no produto final. A arquitetura dum produto pode ser integral ou modular dependendo de duas propriedades, a ligação entre os diversos elementos físicos que constituem o produto e o nível de ligação entres estes elementos, Figura 1.

A arquitetura modular é mais eficiente em empresas que possuem uma variedade de produtos que podem ser normalizados, isto é, que possam fazer variar a configuração do seu produto pela simples substituição dum módulo por outro diferente. Assim, várias empresas aplicam o conceito de modularização como estratégia de planeamento para melhorar a sua eficiência no ciclo de vida do seu produto e tornar a sua organização mais eficaz.

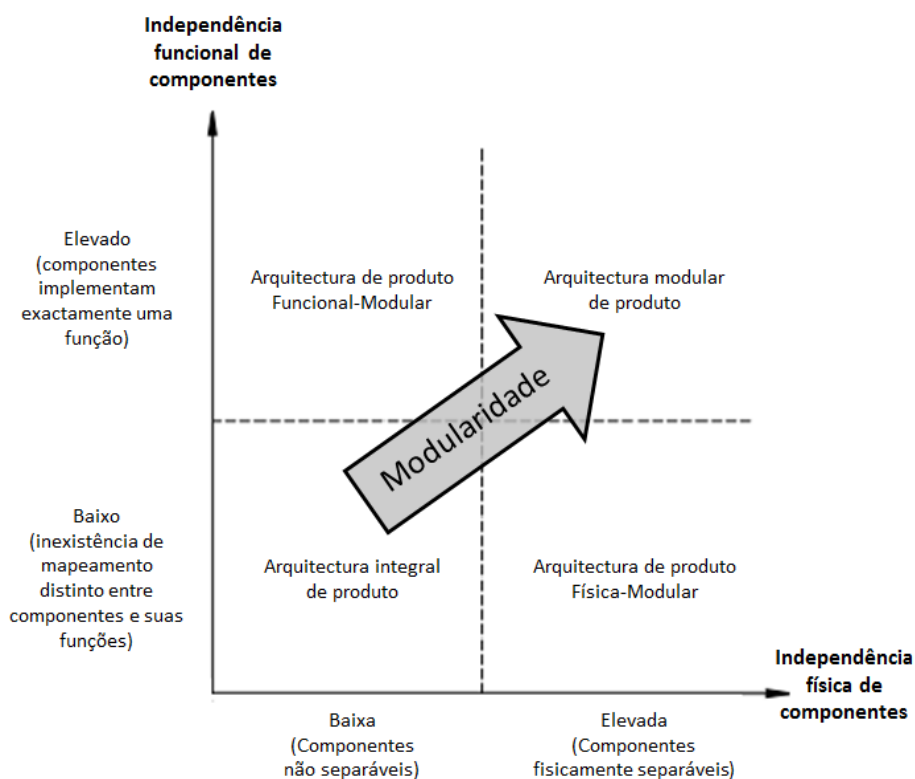


Figura 1 - Independência funcional e física de componentes em sistemas modulares e integrais

2.1 Metodologias de Modularidade

Atualmente os produtos adaptáveis, modulares e reconfiguráveis estão cada vez mais a ser foco de atenção a nível industrial. Estes produtos possibilitam a sua adaptação a diferentes situações (ambientais, funcionais, etc.). Devido à grande variedade de funções necessárias a desempenhar em diferentes situações, não se pode afirmar que existe um método universal para a criação de um produto adaptável.

Na criação de um produto que esteja apto a desempenhar várias tarefas, surge a necessidade de repartir o produto por características. Esta repartição permite à equipa que irá desenvolver o produto em questão ter uma noção bem clara do produto (e respetivas funcionalidades). Num passo seguinte convém que esta equipa agrupe características semelhantes e interligadas num mesmo módulo. Isto permitirá uma clara distribuição de tarefas a desempenhar.

Embora a divisão de características de um produto tenha de ser feita com cuidado por engenheiros experientes (uma vez que esta divisão será diferentes de caso para caso), já existem programas que, numa fase seguinte, agrupem estas características em módulos específicos. Com estes métodos pretende-se combinar as competências das equipas de projeto e o seu conhecimento específico do problema, com o suporte computacional em termos das suas capacidades de análise e cálculo.

2.1.1 *Design Structure Matrix (DSM)*

Na criação de um produto que seja adaptado à elaboração de várias tarefas, surge a necessidade de repartir o produto por características. Esta repartição permite à equipa que irá desenvolver o produto em questão ter uma noção bem clara do produto (e respetivas funcionalidades). Num passo seguinte convém que esta equipa, agrupe características semelhantes e interligadas num mesmo módulo. Isto permitirá uma clara distribuição de tarefas a desempenhar.

Embora a divisão de características de um produto tenha de ser feita com cuidado por engenheiros experientes [uma vez que esta divisão será diferentes de caso para caso], já existem programas que, numa fase seguinte, agrupem estas características em módulos específicos.

Um exemplo de um método aplicável no desenvolvimento de produtos adaptáveis é a metodologia que passa pela criação de uma *Design Structure Matrix (DSM)*. Esta *DSM* permite o registo de todas as características do produto e a determinação da natureza das relações entre cada uma destas características.

2.1.2 *Cambridge Advanced Modeller (CAM)* e função *Clustering*

O programa *CAM* desenvolvido por David C. Wynn (e sua equipa) é uma ferramenta de *software* que permite a modularização e análise das relações e dependências entre características de sistemas complexos tal como produtos adaptáveis. Permite a criação de uma *DSM* e a aplicação de vários algoritmos sobre esta matriz inicial de modo a otimizar a organização das características presentes na matriz. Quando se trata de uma *DSM* representativa das interações de características de um sistema (em vez de, por

exemplo, fluxos de informação ou trabalhadores) o algoritmo mais utilizado é o da função de *clustering*.

Este *clustering* permite a identificação de módulos na *DSM*. O objetivo principal desta função é rearranjar a *DSM* inicial de modo a que as interações entre determinadas características sejam agrupadas em módulos, que minimizem as interações entre si. Ou seja o *DSM* após o *clustering* apresentará grupos que, idealmente, serão independentes entre si, ao mesmo tempo que as interações dentro de um mesmo módulo sejam maximizadas (Yu, Goldberg et al. 2009).

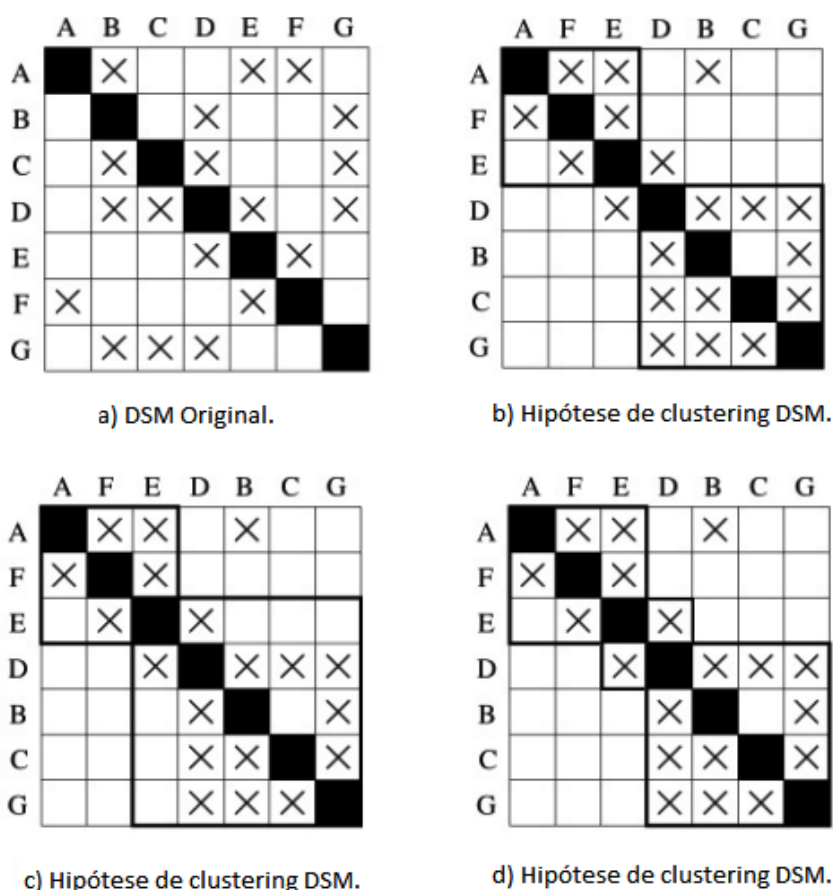


Figura 2 - Exemplo de *clustering* numa *DSM*

A Figura 2 representa uma *DSM* inicial [a], e diferentes hipóteses de *clusterings* [b], [c] e [d]. Estas hipóteses geradas são apenas resultado de diferentes permutações de colunas e linhas da *DSM* original, de modo a que as interações [representadas por "x"] em cada um dos módulos sejam maximizadas.

Nas *DSMs* [b] e [c] são considerados apenas 2 módulos, enquanto que, na hipótese [d], o clustering devolve três módulos, havendo um módulo que se sobrepõe aos outros dois.

Na hipótese [b] os dois módulos são independentes entre si, contudo existem 3 interações que surgem fora de qualquer um dos módulos. Aparece então a alternativa [c] e [d] em que os módulos se sobrepõem deixando assim apenas uma interação de fora. Entre estas duas últimas hipóteses, é discutível qual será melhor, uma vez que

existem interações comuns aos dois módulos em ambos os casos e a “densidade” dos vários módulos varia.

Deste modo verifica-se que existem várias soluções para um *clustering* de uma *DSM*, e que, pelo menos à primeira vista, não se pode afirmar que uma solução é melhor que outra.

Embora o programa *CAM* tenha a enorme vantagem da elaboração automática do agrupamento das características em módulos [*clustering*], este programa não tem presentemente a capacidade de avaliar e validar as matrizes resultantes deste processo. Como já foi referido anteriormente, a matriz resultante após a aplicação do *clustering* poderá não ser na realidade a melhor. Deste modo existe a clara necessidade do utilizador avaliar matematicamente cada resultado de *clustering* de modo a poder sustentar a validade da solução gerada.

Nos últimos anos, o programa *CAM* continuou a ser desenvolvido nomeadamente pela colaboração da Equipa “Engineering Design Centre” da Universidade de Cambridge com outros institutos internacionais, como é o caso do INEGI, pela incorporação de novas métricas de análise modular.

2.2 Key Performance Indicators [KPIs]

Existem vários parâmetros que permitem a avaliação de diferentes aspetos da matriz DSM resultante do *clustering*. A estes parâmetros dá-se o nome de *Key Performance Indicators* [KPI].

De seguida serão apresentados dois KPIs estudados para a avaliação do grau de modularidade obtido através da criação e estudo de uma DSM: *Singular Value Modularity Index* [SMI] e o *Non-Zero Fraction* [NZF]. Estas equações desenvolvidas por Holtta et al. são métricas que permitem calcular o valor do SMI de uma DSM.

$$SMI = 1 - \frac{1}{N \cdot \sigma_1} \sum_{i=1}^{N-1} \sigma_i [\sigma_i - \sigma_{i+1}] \quad (1)$$

$$SMI' = \frac{1}{N} \arg \min_{\alpha} \sum_{i=1}^N \left| \frac{\sigma_i}{\sigma_1} - e^{-\frac{[i-1]}{\alpha}} \right| \quad (2)$$

$$SMI = \frac{\alpha}{N} \quad (3)$$

$$NZF = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N DSM_{ij}}{N[N-1]} \quad (4)$$

Para cálculo dos valores de SMI e NZF foram consideradas as equações (1), (2), (3) e (4) (Hölttä, Suh et al. 2005; Stryker and Jacques 2009). Numa primeira aproximação foi tomada a equação (1) (Hölttä, Suh et al. 2005), contudo, ao aplicar esta equação a vários exemplos e comparando estes resultados a outros, que utilizaram estes mesmos exemplos mas com uma equação diferente, verificou-se uma discrepância entre resultados. Isto levou a um abandono da equação (1) devido ao facto desta equação ser encontrada apenas num artigo científico (Hölttä, Suh et al. 2005), enquanto as equações (2) e (4) (Holtta-Otto and de Weck 2007) estão presentes em vários artigos científicos (Holtta-Otto and de Weck 2007; Stryker and Jacques 2009), todos eles mais recentes que o artigo donde foi tirada a equação (1) (Hölttä, Suh et al. 2005). Desta forma as equações (2) e (3) são consideradas mais atuais, sendo consequentemente, mais utilizadas.

No caso de uma ligação entre dois elementos ser mais importante que uma outra ligação entre outros dois elementos distintos, é possível admitir valores diferentes de 1 e 0 que traduzem esse peso relacionado com a importância da ligação. Deste modo obtém-se uma matriz com vários valores diferentes em vez de uma matriz binária. Para o caso disto acontecer, a determinação de KPIs é feita de uma maneira diferente a esta aqui apresentada. Sendo assim, por simplificação, nos casos estudados, considerou-se que as ligações entre características tinham todas a mesma importância, optando-se por matrizes binárias.

2.2.1 Singular value modularity index (SMI)

O *SMI* é um parâmetro importante a avaliar numa matriz *DSM*, por ser um indicador do grau de modularidade de um sistema.

Este parâmetro varia entre 0 e 1, sendo um valor de *SMI* muito perto de 1 representativo de um sistema com um elevado grau de modularidade, onde a informação acerca das interações entre componentes está mais distribuída ao longo do sistema, por outro lado um valor mais perto de 0 indica um sistema mais solto e disperso. O *SMI* é independente do tamanho da matriz *DSM*, o que implica a possibilidade de comparar o grau de modularidade de produtos diferentes entre si.

As equações (2) e (3) desenvolvidas por Hölttä-Otto et al. (Holtta-Otto and de Weck 2007), assumem, por questões comparativas, que os valores singulares em todos os sistemas diminuem exponencialmente de acordo com " $\exp[-(i-1)/\alpha]$ ". Deste modo é obtido um valor de *SMI'* para o qual ' α ' é mínimo, e, de seguida, através da equação (3), é determinado o *SMI* dividindo este valor de " α " pelo número de elementos (N) em que o produto foi dividido.

O esquema na Figura 3 apresenta os passos para obtenção dos valores singulares de uma matriz *DSM* exemplo. É importante referir que ao passar de uma matriz *DSM* convencional para uma matriz binária, todas as "casas" com um "x" ou um, passam a ter o valor de "1" enquanto que todas as outras tomam o valor de "0".

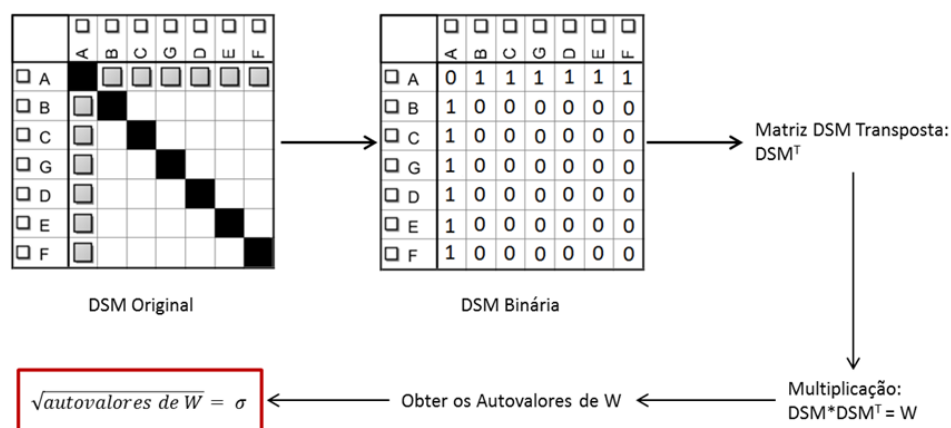


Figura 3 - Passos desde a matriz inicial *DSM* até à obtenção dos valores singulares

A primeira parte do programa consiste na obtenção dos valores singulares (σ) da *DSM* (Figura 3), e a segunda, num ciclo do qual resulta o valor de " α " para o qual o somatório é mínimo.

Após achar este valor de " α ", é aplicada a equação (3) e o valor de *SMI* é obtido.

De modo a confirmação que este programa estava correto foi então testado com os seguintes exemplos:

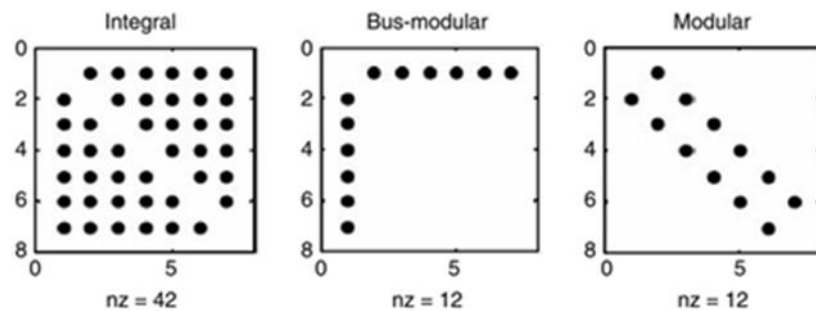


Table 1. Values of SMI and NZF for idealized architectures with $N = 7$.

Case	Description	N	α	SMI (Equation (6))	NZF (Equation (7))
(a)	Integral	7	1.12	0.16	1.0
(b)	Bus-modular	7	0.82	0.12	0.29
(c)	Modular	7	5.67	0.81	0.29

Figura 4 - Exemplos usados para testar o programa elaborado em *SciLab* (Holtta-Otto and de Weck 2007)

Esta análise foi positiva, uma vez que os resultados obtidos através do programa coincidiram todos com os valores apresentados na tabela da Figura 4.

2.2.2 *Non zero fraction (NZF)*

O *NZF* é um indicativo da dispersão do *DSM*, este valor, tal como o *SMI*, varia de 0 a 1. Um valor de *NZF* mais perto de 1 significa que todos os componentes estão ligados a todos os outros componentes, por outro lado, um valor de *NZF* aproximadamente igual a 0, indica um sistema disperso em que os componentes são praticamente todos independentes uns dos outros. O *NZF* é também independente da reorganização de linhas e colunas, logo é um indicativo da discretização do sistema/produto em si.

O cálculo do *NZF*, equação (4), (Holtta-Otto and de Weck 2007) é significativamente mais simples que o cálculo do *SMI*. Consiste numa fração, em que o numerador é a soma de todas as entradas diferentes de zero na matriz binária após a remoção dos elementos da diagonal, e o denominador depende apenas do número de características a avaliar.

Os exemplos da Figura 4 foram novamente testados, e os resultados obtidos coincidiram com os resultados dos exemplos. Deste modo foram criados dois programas que permitirão, avaliar exemplos reais de *DSM*, e concluir acerca da validade destas matrizes de forma rápida e clara. É importante referir que esta necessidade surgiu uma vez que o programa *CAM* não possuía a capacidade de calcular estes parâmetros automaticamente. Numa fase posterior surgiu a oportunidade de contacto entre o INEGI e o criador do programa *CAM* [David C. Wynn], e após alguma discussão e esclarecimento por parte de ambas as entidades, foram geradas e inseridas rotinas de cálculo para o *SMI* e *NZF* no programa *CAM*. Deste modo atualmente é extremamente simples determinar estes parâmetros para qualquer *DSM* criada no programa *CAM*.

2.3 Índice de Modularidade e Reconfigurabilidade – Parâmetros desenvolvidos pelo INEGI

Os parâmetros de avaliação *SMI* e *NZF* não são suficientes para a determinação da modularidade de um produto, pois estes não são afetados pela função de *clustering*. Lembra-se aqui, não só o conceito de modularidade, que pressupõe uma divisão de um produto em vários módulos, o mais independente entre si de modo a facilitar a produção do produto, como também a limitação do *SMI* em avaliar a forma como os *clusters* são formados numa *DSM*. Partindo destas limitações desenvolveram-se novos parâmetros que colmatem estas lacunas nas métricas existentes.

2.3.1 Índice de Modularidade – *MD*

Partindo das limitações do *SMI* e do *NZF*, e tendo em conta que o objetivo da função *clustering* (aglomeração) é maximizar as interações entre componentes dentro de um mesmo módulo e minimizar interações fora destes mesmos módulos, criou-se uma fórmula matemática que avalia as ligações dentro de módulos face às ligações entre módulos distintos.

Este parâmetro (*MD*) mede a modularidade através das ligações e aglomerados gerados. De forma simplificada a Figura 5 e Figura 6, demonstram casos extremos de produtos modulares e não modulares.

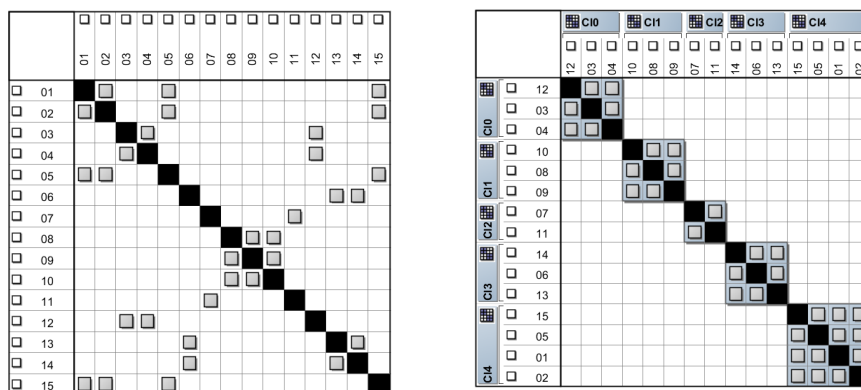


Figura 5 - *DSM* original, à Esquerda - exemplo modular | *DSM* após algoritmo de aglomeração, à Direita - exemplo modular

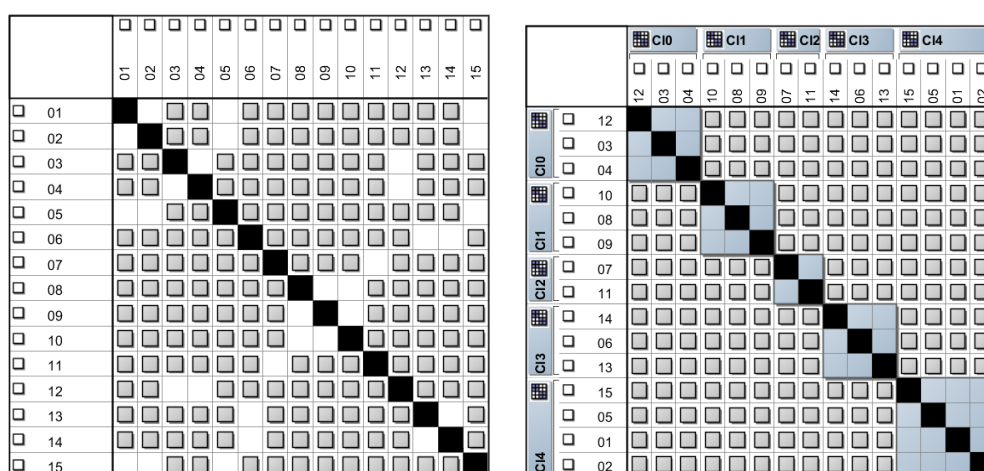


Figura 6 - *DSM* original, à esquerda - exemplo não modular | *DSM* após algoritmo de aglomeração, à direita (exemplo não modular)

Analisando as primeiras duas imagens, em que é apresentado um produto modular, a Figura 5 (esquerda) apresenta uma *DSM* genérica de um produto com 15 componentes e interações definidas entre eles. A Figura 5 (direita) apresenta esta mesma *DSM*, mas após aplicação do algoritmo de aglomeração. Observando esta matriz aglomerada torna-se evidente que as ligações entre componentes de um mesmo módulo estão maximizadas (todos os módulos estão completamente preenchidos) e as ligações entre módulos distintos são inexistentes, assim o parâmetro desenvolvido devolve o valor de 1 para este produto. Contrariamente, num caso igualmente extremo, se todas as ligações estivessem fora dos módulos, o grau de modularidade seria 0. É óbvio que na prática é extremamente raro, ou mesmo até impossível obter-se uma *DSM* como a apresentada na Figura 6 (Direita), pois mesmo no caso de ser criada uma matriz semelhante à Figura 6 (Esquerda), nenhum algoritmo de aglomeração irá devolver uma matriz semelhante à matriz da Figura 6 (Direita).

Estas *DSMs* das figuras Figura 5 (Direita) e Figura 6 (Esquerda) são apenas exemplos teóricos daquilo que seria um produto perfeitamente modular (modularidade = 1) ou perfeitamente “não-modular ou integral” (modularidade = 0) respetivamente de acordo com a métrica desenvolvida.

As fórmulas desenvolvidas pelo INEGI para cálculo do parâmetro de modularidade encontram-se apresentadas de seguida.

$$d_i = \frac{n^o \text{ total ligações num cluster}}{(n_i - 1) * n_i} \quad (5)$$

$$D = \frac{\sum_{i=1}^c d_i}{c} \quad (6)$$

$$E = \frac{n^o \text{ total ligações exteriores aos clusters}}{(N - 1) * N - \sum_{i=1}^c ((n_i - 1) * n_i)} \quad (7)$$

$$M_D = \frac{(D - E) + 1}{2} \quad (8)$$

Nestas equações:

n_i – Número de componentes do cluster i

C – Número total de *clusters* de uma *DSM*

N – Número total de componentes da *DSM*

MD – Parâmetro de Modularidade desenvolvido pelo INEGI

2.3.1.1 Exemplo Aplicação – Modularidade

Foi aplicado novamente o algoritmo de aglomeração (Figura 7) e obteve-se a *DSM* da Figura 8.

[illegible]

Figura 7 - Exemplo de aplicação do algoritmo de aglomeração – Primeira Hipótese.

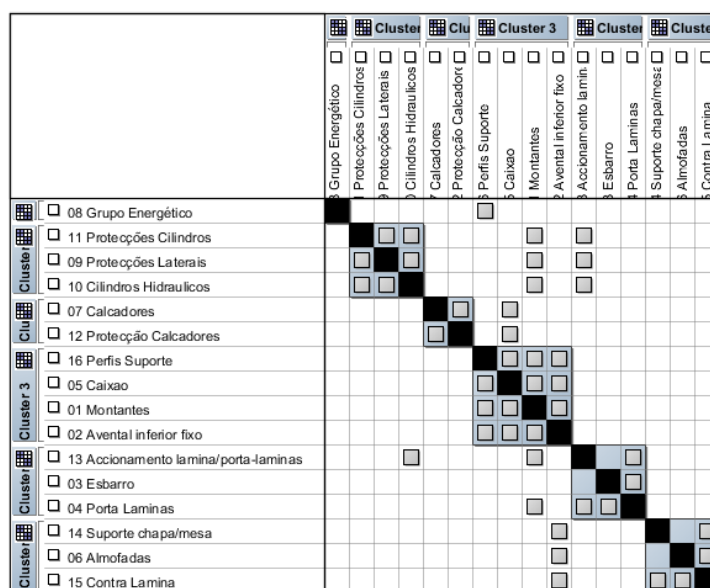


Figura 8 - Exemplo de aplicação do algoritmo de aglomeração – Segunda Hipótese.

Procedeu-se desta forma à avaliação destas duas matrizes de modo a perceber numericamente qual é que dava melhores resultados, e se a diferença entre resultados obtidos para estas duas matrizes eram muito diferentes, justificando assim a escolha de uma aglomeração sobre a outra. Os valores obtidos para este estudo estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados obtidos para Modularidade

<i>SMI</i>	0.3235
<i>NZF</i>	0.1792
<i>M_D</i> Primeira Hipótese	0.7643
<i>M_D</i> Segunda Hipótese	0.8251

Verifica-se que para a segunda hipótese de agrupamento de componentes o valor do parâmetro de modularidade *MD* é superior ao da primeira hipótese, isto poderá indicar que a segunda hipótese apresenta uma forma mais modular de agrupar os componentes. Caso esta hipótese não traduza uma solução viável na prática então será necessário analisar novamente a matriz gerada e conferir todas as ligações feitas, uma vez que se a solução gerada não é exequível então existem erros nos *inputs*.

Assim, o parâmetro *M_D* é claramente uma mais-valia no processo de avaliação do grau de modularidade uma vez que apenas com o *SMI* não seria possível determinar quais das duas soluções geradas são melhores.

2.3.2 Índice de Reconfigurabilidade – RD

À semelhança do que foi feito relativamente ao processo de geração de um novo parâmetro para calcular a modularidade, foi feito um estudo em torno da reconfigurabilidade de modo a criar um novo parâmetro para calcular este índice. Mais uma vez este estudo foi feito dadas as limitações impostas pelos parâmetros existentes atualmente.

Uma vez que a reconfigurabilidade pressupõe a substituição de um *cluster*/módulo por outro, este parâmetro baseia-se na quantificação da facilidade [ou dificuldade] existente numa *DSM* em remover e substituir um determinado módulo. A *DSM* é avaliada segundo a sua facilidade em remover um determinado *cluster* e inserir outro no seu lugar.

A facilidade em substituir um módulo da *DSM* está diretamente associado às ligações entre um módulo e outro, ou seja baseia-se nas ligações entre módulos e não nas ligações dentro de um módulo.

$$r_i = \frac{n^{\circ} \text{ total ligações de um cluster a outros clusters}}{(N - n_i) * n_i} \quad (9)$$

$$R_D = 1 - \frac{\sum_{i=1}^c (1 - r_i)}{c} \quad (10)$$

Nestas equações:

- n_i – Número de componentes do cluster i
- C – Número total de *clusters* de uma *DSM*
- N – Número total de componentes da *DSM*
- RD – Parâmetro de Reconfigurabilidade desenvolvido pelo INEGI

2.3.2.1 Exemplo Aplicação - Reconfigurabilidade

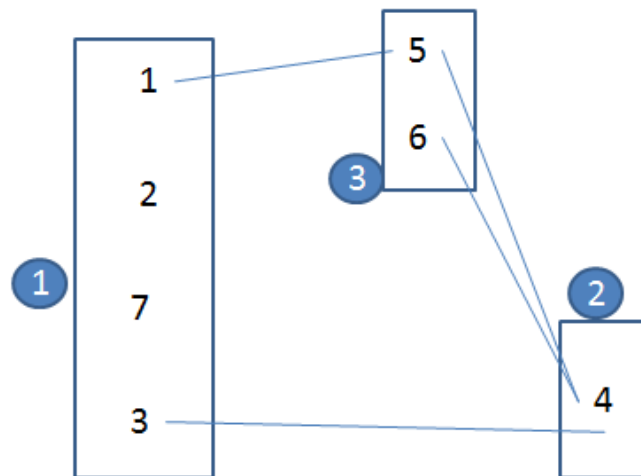


Figura 9 - Esquema representativo de módulos e suas ligações de uma DSM

Neste exemplo existem três módulos:

		Cluster				Cluster		Cluster	
		1	2	7	3	4	5	6	
Cluster	1								
	2								
	7								
	3								
Cluster	4								
	5								
Cluster	6								
	6								

Figura 10 - DSM do sistema da Figura 20

Neste caso tem-se que:

$$n_1 = 4$$

$$n_2 = 1$$

$$n_3 = 2$$

$$C = 3$$

$$N = 7$$

$$r_1 = \frac{2}{(7-4) * 4} = 0.1667$$

$$r_2 = \frac{3}{(7-1) * 1} = 0.5000$$

$$r_3 = \frac{3}{(7-2) * 2} = 0.3000$$

$$R_D = 1 - \frac{(1-r_1) + (1-r_2) + (1-r_3)}{c}$$

$$\Leftrightarrow R_D = 0.3222$$

Destes resultados conclui-se que o módulo mais fácil de se substituir é o módulo 1 [$r_1 = 0.1667$]. O produto em si tem um grau de reconfigurabilidade de 0.3222. Com estes dados é possível comparar o grau de reconfigurabilidade deste produto com outro produto qualquer. Em alguns casos a comparação não fará sentido [exemplo grau de reconfigurabilidade de uma bateadeira e uma mota], contudo para produtos pertencentes a uma mesma gama este parâmetro torna-se uma poderosa ferramenta para se perceber e comparar relações entre produtos.

2.4 Caso Estudo - Guincho Aberto

A criação da *DSM* foi realizada segundo um estudo prévio que incluiu uma esquematização e descrição dos conceitos elaborados para a base do projeto de detalhe do guincho aberto. Desta forma, é possível comparar a modularidade e reconfigurabilidade entre dois conceitos diretamente comparáveis, permitindo definir um rumo de desenvolvimento no qual as questões relacionadas com modularidade têm uma real influência no apoio à decisão. O detalhe de cada um dos conceitos é apresentado nas Figura 11 e Figura 12. A esquematização consiste na divisão dos conceitos nos seus grupos e componentes principais.

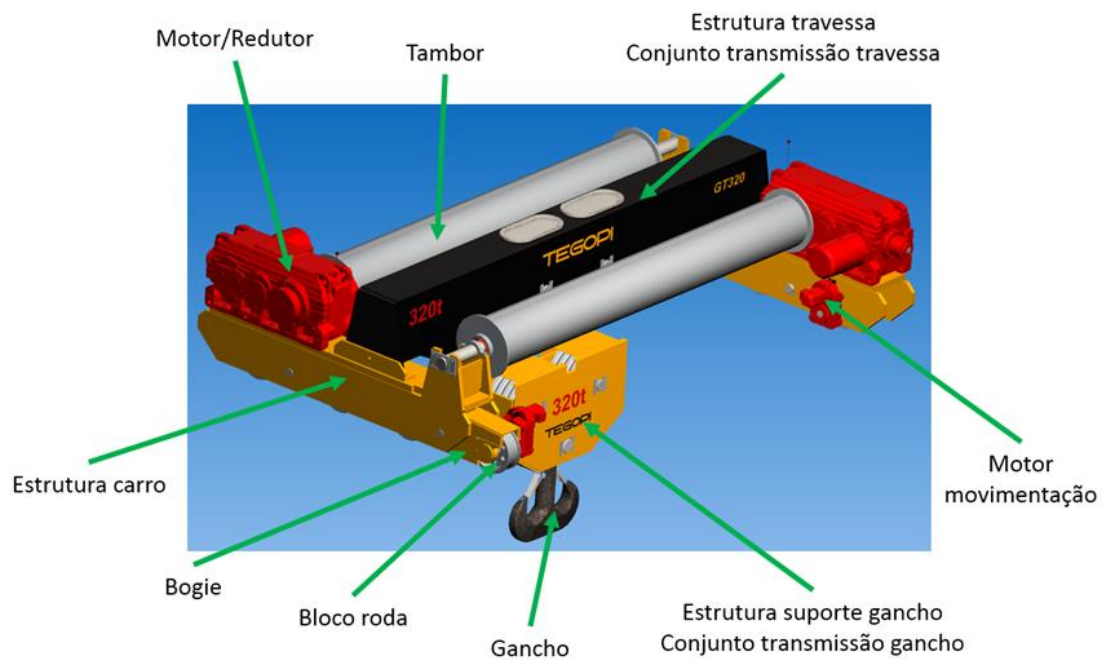


Figura 11 - Esquemática do Conceito A

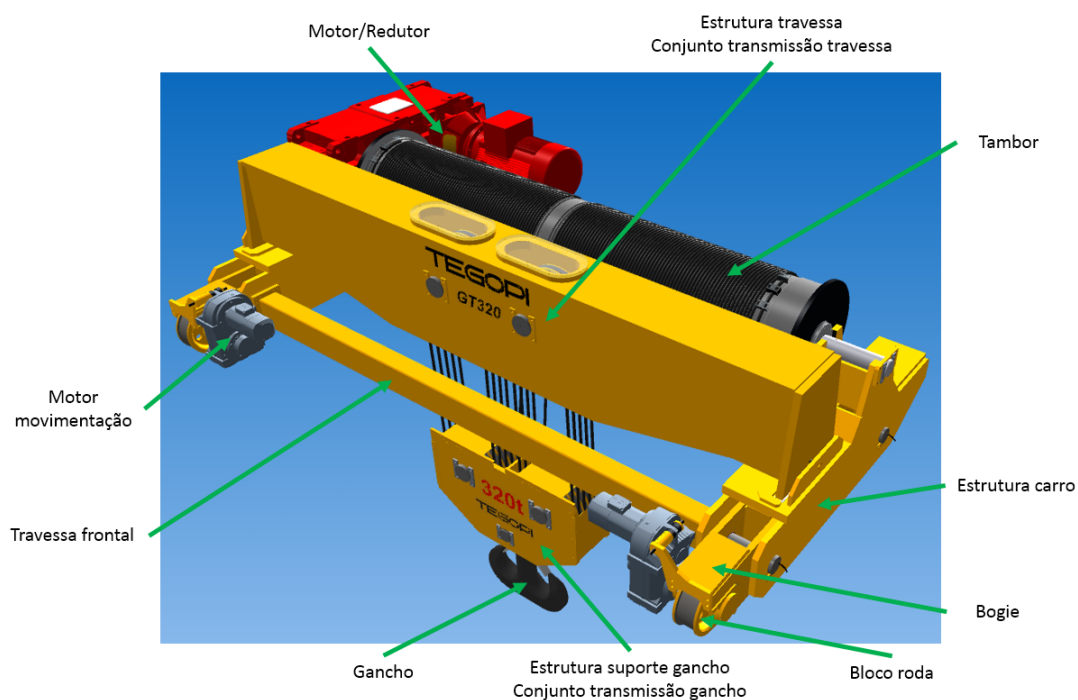


Figura 12 - Esquemática do Conceito B

Foram elaboradas duas *DSMs* tendo em consideração os dois conceitos de guincho aberto. A primeira correspondente ao conceito A (Figura 13), e a segunda ao conceito B (Figura 14).

		01 Estrutura Travessa 02 Conjunto Transmissão Travessa	03.1 Tambor 03.2 Tambor 04.1 Motor/Redutor 04.2 Motor/Redutor	05 Gancho 06 Conjunto Transmissão Gancho 07 Estrutura Suporte Gancho	08.1 Estrutura Carro 09.1 Bógie 09.2 Bógie 10.1 Bloco Roda 10.2 Bloco Roda 10.3 Bloco Roda 10.4 Bloco Roda 11.1 Motor movimentação	08.2 Estrutura Carro 09.3 Bógie 09.4 Bógie 10.5 Bloco Roda 10.6 Bloco Roda 10.7 Bloco Roda 10.8 Bloco Roda 11.2 Motor movimentação
Travessa	01 Estrutura Travessa 02 Conjunto Transmissão Travessa	1 1				
Sistema Elevação Carga	03.1 Tambor 03.2 Tambor 04.1 Motor/Redutor 04.2 Motor/Redutor		1 1 1 1			
Gancho	05 Gancho 06 Conjunto Transmissão Gancho 07 Estrutura Suporte Gancho			1 1 1 1		
Carro Lateral 1	08.1 Estrutura Carro 09.1 Bógie 09.2 Bógie 10.1 Bloco Roda 10.2 Bloco Roda 10.3 Bloco Roda 10.4 Bloco Roda 11.1 Motor movimentação				1 1 1 1 1 1 1 1	
Carro Lateral 2	08.2 Estrutura Carro 09.3 Bógie 09.4 Bógie 10.5 Bloco Roda 10.6 Bloco Roda 10.7 Bloco Roda 10.8 Bloco Roda 11.2 Motor movimentação					1 1 1 1 1 1 1 1

Figura 13 - DSM do conceito A

Para além destes conceitos criou-se mais uma *DSM* para cada conceito utilizando o *software CAM* e a função de clustering. Esta função usa um algoritmo que tem como objetivo principal rearranjar a *DSM* inicial de modo a que as interações entre determinadas características sejam agrupadas em módulos, que minimizem as interações entre si. Ou seja, o *DSM* após o *clustering* apresentará grupos que, idealmente, serão independentes entre si, ao mesmo tempo que as interações dentro de um mesmo módulo sejam maximizadas.

		01 Estrutura Travessa	02 Conjunto Transmissão Travessa	03 Tambor	04 Motor/Redutor	05 Gancho	06 Conjunto Transmissão Gancho	07 Estrutura Suporte Gancho	08 Estrutura Carro Direito	09.1 Bogie	09.2 Bogie	10.1 Bloco Roda	10.2 Bloco Roda	10.3 Bloco Roda	10.4 Bloco Roda	11.1 Motor movimentação	12 Estrutura Carro Esquerdo	09.3 Bogie	09.4 Bogie	10.5 Bloco Roda	10.6 Bloco Roda	10.7 Bloco Roda	10.8 Bloco Roda	11.2 Motor movimentação	12 Travessa Frontal
Travessa	01 Estrutura Travessa	1																							
	02 Conjunto Transmissão Travessa	1	1																						
Sistema Elevação Carga	03 Tambor			1																					
	04 Motor/Redutor			1	1																				
Gancho	05 Gancho					1																			
	06 Conjunto Transmissão Gancho					1	1																		
	07 Estrutura Suporte Gancho					1	1	1																	
	08 Estrutura Carro Direito	1	1						1	1															1
	09.1 Bogie								1	1															
	09.2 Bogie								1	1															
	10.1 Bloco Roda								1	1															
	10.2 Bloco Roda								1	1															
	10.3 Bloco Roda								1	1															
	10.4 Bloco Roda								1	1															
	11.1 Motor movimentação								1	1															
	12 Estrutura Carro Esquerdo	1	1																						1
	09.3 Bogie																								
	09.4 Bogie																								
	10.5 Bloco Roda																								
	10.6 Bloco Roda																								
	10.7 Bloco Roda																								
	10.8 Bloco Roda																								
	11.2 Motor movimentação																								
Travessa Frontal	12 Travessa Frontal																								1

Figura 14 - DSM do conceito B

Embora o programa *CAM* tenha a enorme vantagem da elaboração automática do agrupamento das características em módulos, a matriz resultante após a aplicação do *clustering* poderá não ser na realidade a melhor, mas antes uma otimização da modularidade da *DSM* base sem módulos. No entanto, o *clustering* cria uma base de comparação aceitável, uma vez que o algoritmo de aglomeração é o mesmo em ambos os conceitos.

Estas duas matrizes automáticas têm assim como objetivo perceber as melhorias possíveis em comparação com as matrizes dos conceitos gerados. Se eventualmente as diferenças forem significativas será indicatório que a modularidade será melhorável, e que pode ser aconselhável tentar uma nova organização dos componentes, tendo em conta, no entanto, que as matrizes automáticas criadas com a função *clustering*, não garantem a funcionalidade do produto.

Estas duas matrizes são apresentadas na Figura 15 e Figura 16.

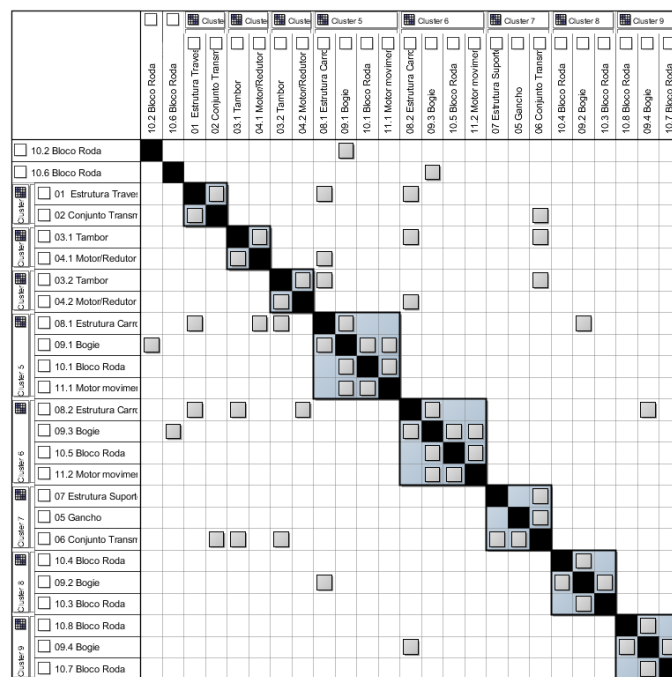


Figura 15 - DSM efetuado pelo *software* CAM utilizando a função de clustering partindo do conceito A sem módulos – DSM clustered do conceito A

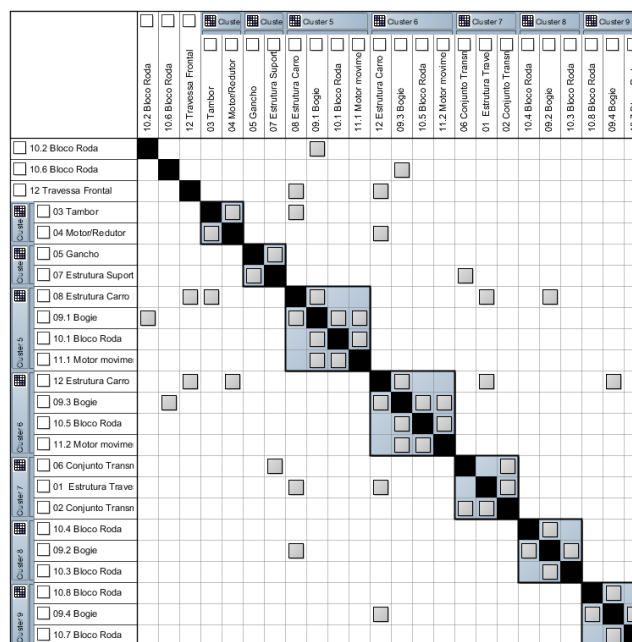


Figura 16 - DSM efetuado pelo *software* CAM utilizando a função de clustering partindo do conceito B sem módulos – DSM clustered do conceito B.

2.4.1 Resultados: *Key Performance Indicators [KPIs]*

A Tabela 2 apresenta os valores dos vários parâmetros calculados para os conceitos e matrizes aglomeradas automaticamente (*clustered*). Na Tabela 2 é também apresentado a diferença percentual entre conceitos e a comparação das *DSM* dos conceitos com cada uma das *DSM clustered*.

Tabela 2 – Apresentação de resultados.

Conceito A		Conceito B		Dif %
Modularidade - MD	0,738	Modularidade - MD	0,754	2,1
Reconfigurabilidade - RD	0,955	Reconfigurabilidade - RD	0,956	0,1
CAM SMI	0,466	CAM SMI	0,470	0,9
CAM NZF	0,100	CAM NZF	0,098	-2,0

Conceito A		Conceito A <i>clustered</i>		Dif %
Modularidade - MD	0,738	Modularidade - MD	0,795	7,8
Reconfigurabilidade - RD	0,955	Reconfigurabilidade - RD	0,948	-0,7
CAM SMI	0,466	CAM SMI	0,466	0,0
CAM NZF	0,100	CAM NZF	0,100	0,0

Conceito B		Conceito B <i>clustered</i>		Dif %
Modularidade - MD	0,754	Modularidade - MD	0,747	-0,8
Reconfigurabilidade - RD	0,956	Reconfigurabilidade - RD	0,955	-0,1
CAM SMI	0,470	CAM SMI	0,470	0,0
CAM NZF	0,098	CAM NZF	0,098	0,0

2.5 Referências

- 1000, O.-T. S. (2011). Oeko-Tex Standard 1000.
- Baldwin, C. Y. and K. B. Clark (2004). Modularity in the Design of Complex Engineering Systems.
- Duflou, J. R., J. Váncza, et al. (2005). "Computer Aided Process Planning for Sheet Metal Bending: A State of the Art." Computers in Industry 56(7): 747-771.
- Gu, P., M. Hashemian, et al. (2004). "Adaptable Design." CIRP Annals - Manufacturing Technology 53(2): 539-557.
- Gumasta, K., S. Kumar Gupta, et al. (2011). "Developing a Reconfigurability Index Using Multi-Attribute Utility Theory." International Journal of Production Research 49(6): 1669-1683.
- Holttä-Otto, K. and O. de Weck (2007). "Degree of Modularity in Engineering Systems and Products with Technical and Business Constraints." Concurrent Engineering 15(2): 113-126.
- Hölttä, K., E. S. Suh, et al. (2005). Trade-off Between Modularity and Performance for Engineered Systems and Products. Proc of International Conference on Engineering Design, Melbourne, DESIGN SOCIETY.
- Luke, E. A. (1993). Defining and measuring scalability. Scalable Parallel Libraries Conference, 1993., Proceedings of the.
- Maier-Sperdelozzi, V., Y. Koren, et al. (2003). "Convertibility Measures for Manufacturing Systems." CIRP Annals - Manufacturing Technology 52(1): 367-370.
- Mikkola, J. H. (2006). "Capturing the Degree of Modularity Embedded in Product Architectures." Journal of Product Management 23.
- Mikkola, J. H. (2007). "Management of Product Architecture Modularity for Mass Customization." IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT 54(1).
- Mikkola, J. H. and O. Gassmann (2003). "Managing Modularity of Product Architectures." IEEE TRANSACTIONS ON ENGINEERING MANAGEMENT 50(2).
- Pinto, J. P. (2009). Gestão de Operações na Indústria e nos Serviços
- Poledrini, S. (2008). From Modular Innovation to Systems Integration: the Main Experiences from some Italian Machine Tool Builders. 8th Global Conference on Business & Economics. Florence, Italy.
- R., C. R., R. P. R., et al. (2006). "Metrics for Evaluating Design of Reconfigurable Machine Tools." Lecture Notes in Computer Science: 234 – 241.
- Spicer, P., Y. Koren, et al. (2002). "Design Principles for Machining System Configurations." CIRP Annals - Manufacturing Technology 51(1): 275-280.
- Sterling, T. L. and K. C. Laprade (1988). The Impact of Overhead on the Scalability of Multiprocessors for Parallel Processing. ACM 27th Annual Southeast Regional Conference.
- Stryker, A. C. and D. R. Jacques (2009). Modularity Versus Functionality - a Survey and Application. 7th Annual Conference on Systems Engineering Research.
- Vaughn, A., P. Fernandes, et al. (2002). Manufacturing System Design Framework Manual.
- Yu, T.-L., D. E. Goldberg, et al. (2009). "Dependency Structure Matrix, Genetic Algorithms, and Effective Recombination." Evolutionary Computation 17(4): 595-626.

3. *EcoDesign*

O presente estudo tem como objetivo o desenvolvimento de um Sistema de Elevação de Grande Porte através da aplicação de metodologias de *EcoDesign*. A utilização de uma avaliação do ciclo de vida (*LCA – Life Cycle Assessment*), como ferramenta de apoio ao *EcoDesign*, permite que, através de uma visão sistemática do produto, abrangendo todo o seu ciclo de vida, se consiga garantir que durante a sua conceção não só se identifique os aspetos ambientais críticos, como também se registre uma redução efetiva dos seus impactes nos conceitos realizados, permitindo tornar o novo conceito num produto mais ecoeficiente ao longo da sua vida útil.

Considerando esta abordagem como perspetiva inicial na realização deste trabalho, para a identificação dos aspetos ambientais significativos do equipamento em estudo, e respetivas especificações necessárias, foi utilizada a avaliação de ciclo de vida como metodologia de *EcoDesign*. Assim, a avaliação do ciclo de vida (*LCA – Life Cycle Assessment*) é uma ferramenta de decisão ambiental que quantifica dados ambientais e energéticos de produtos ou processos, obtendo-se assim o desempenho ambiental destes ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matéria-prima até ao seu fim de vida.

Como resultado desta abordagem, é pretendido que o somatório dos impactes ambientais do equipamento a desenvolver, tenham um impacto inferior ao somatório dos impactes ambientais de soluções anteriores. Ou seja:

$$\sum \text{IA Equipamento Novo} < \sum \text{IA Equipamento Anterior}$$

Desta forma, a TEGOPI SA, através da utilização de metodologias de *EcoDesign*, iniciou o projeto através de um primeiro conceito, o qual foi alvo de uma avaliação do ciclo de vida. Desta forma, foram estabelecidas novas metas, de acordo com os resultados obtidos, chegando a um novo projeto que será alvo de prototipagem.

As secções seguintes descrevem o âmbito deste estudo, nomeadamente o sistema de produtos e processos que são objeto do *LCA*, uma descrição do equipamento em estudo, a unidade funcional utilizada e os limites do sistema.

O equipamento em estudo destina-se à movimentação de carga até uma carga máxima de 320 Ton.

3.1 Metodologia de *EcoDesign* Utilizada

A fim de validar o novo produto como referência a nível de Ecodesign, foi necessário seguir uma metodologia de Ecodesign, conforme esquematizada na Figura 17. Este processo envolveu que, em primeira instância, fosse desenvolvido um primeiro conceito de equipamento, uma vez que a TEGOPI SA não era fabricante deste tipo de equipamentos, ao qual se realizou, através dum inventário do ciclo de vida, a respetiva avaliação do ciclo de vida. Através da avaliação dos resultados obtidos, foi estabelecido um plano de ação sobre quais os pontos a otimizar durante o projeto do novo equipamento. Por forma a validar o novo projeto, existiu a necessidade de se realizarem sucessivas iterações ao projeto até se atingirem os objetivos estabelecidos. Seguidamente, Figura 17, encontra-se esquematizada a metodologia adotada para a conceção do novo equipamento.



Figura 17 – Metodologia adotada para conceção do Protótipo com integração de práticas de EcoDesign

3.2 Ciclo de Vida do Equipamento

Num *LCA* o ciclo de vida do produto inicia-se com a extração e/ou aquisição dos materiais que compõem esse produto. Esta etapa inclui não só as atividades relacionadas com processos extrativos e de perfuração para extrair da natureza os materiais constituintes do produto, como pode incluir também a aquisição de materiais resultantes de processos de reciclagem. De qualquer forma, na sequência desta etapa de extração e/ou aquisição, há uma sucessão de operações que transformam estes materiais, ainda num estado de matéria-prima, em materiais utilizáveis industrialmente. Como exemplo, as matérias-primas metálicas, como o alumínio, são geralmente produzidas em duas etapas. Primeiramente, o minério bruto é processado para aumentar a concentração do metal desejado, processo chamado de beneficiação e que, tipicamente, inclui a trituração, separação, torrefação magnética, flotação e lixiviação. Em seguida ocorrem os chamados processos adicionais, tal como fundição, que são usados para produzir o metal em causa conferindo-lhe as características desejadas, e no qual também se inserem os processos de reciclagem de materiais quando aplicável. Todos estes processos, bem como todos os restantes necessários na preparação dos diferentes materiais presentes no equipamento, estão incluídos na etapa de processamento de materiais do ciclo de vida.

A etapa seguinte do ciclo de vida representa o fabrico do equipamento. Esta etapa inclui uma série de vários processos que, de uma forma geral, corresponde ao agrupamento dos diferentes materiais dando origem ao produto final. A esta fase segue-se a etapa de utilização que é referente não só à montagem do equipamento no cliente, como também à sua utilização durante o tempo de vida.

Por fim, quando o tempo de vida do equipamento termina entramos na última etapa do ciclo de vida chamada de fim-de-vida. Esta etapa inicia-se com as atividades de desmontagem do equipamento, e tem como objetivo recuperar, dentro do possível, os seus materiais constituintes. Contudo, existem alternativas, como por exemplo estender o ciclo de vida, quer por reutilização de parte dos componentes, quer por novo condicionamento e utilização em mercado de segunda mão.

De referir ainda que durante todo o ciclo de vida também estão incluídas as atividades necessárias à circulação dos diferentes produtos entre as diversas etapas, nomeadamente o transporte.

O diagrama obtido para a situação real do equipamento foi definido conforme ilustrado na Figura 18.

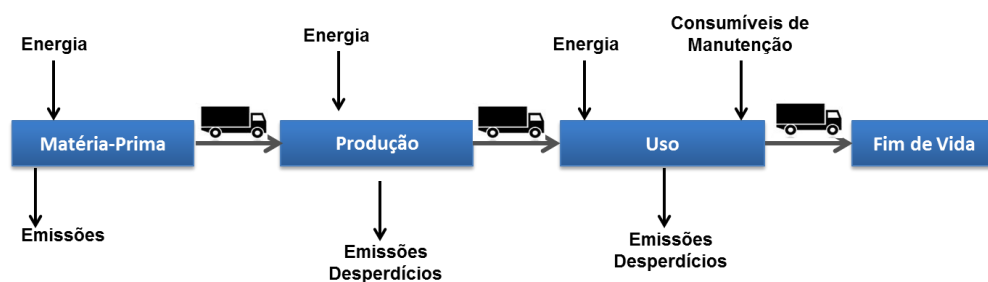


Figura 18 – Fronteiras do Ciclo de Vida Real definido

3.3 Exclusões Gerais do Estudo

Após compreensão da relevância ambiental dos fluxos de entrada e saídas relacionadas com as várias etapas foram efetuadas pequenas considerações no ciclo de vida real definido, de modo a torná-lo o mais próximo das funções de comparação pretendidas, sem que, estas alterações alterem significativamente a objetivo global do estudo. Assim, o novo diagrama de ciclo de vida proposto encontra-se definido do seguinte modo, Figura 19:

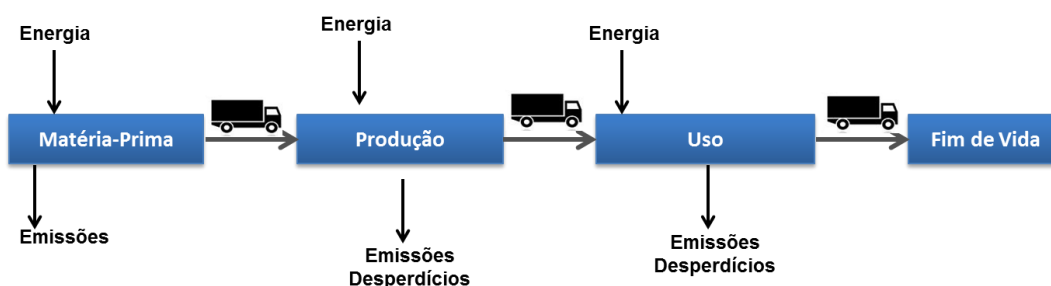


Figura 19 – Fronteiras do Ciclo de Vida proposto para o equipamento do presente estudo

Conforme se pode verificar, as considerações efetuadas passaram por se desprezar os consumíveis de manutenção. A eliminação dos consumíveis de manutenção deve ao facto de se estimar tenha uma contribuição praticamente impercetível quando comparado com os outros fluxos de entrada, onde se espera que as matérias-primas e a produção tenham o maior impacto devido às dimensões do equipamento em causa. Desta forma, foram definidos, de acordo com cada etapa do ciclo de vida, os fluxos de informação necessários para definir as fronteiras do sistema, que podem ser observado na Tabela 3.

Etapa do Ciclo de Vida			
Matéria-Prima	Componentes Normalizados	Componentes não Normalizados	Matéria-Prima para Fabrico Interno
Produção	Processos internos realizados à Matéria-Prima adquirida		
Uso	Estimativa do Consumo Energético		
Fim de Vida	Mercado de Segunda Mão		

Tabela 3 – Etapas do ciclo de vida e respetivas fronteiras definidas

Esta identificação inicial foi realizada utilizando os dados disponíveis e o conhecimento base sobre o ciclo de vida do equipamento, contudo, sendo um processo iterativo, as entradas e saídas serão identificadas de forma mais completa, depois de serem escolhidos dados adicionais ao longo do estudo e submetidos, posteriormente, a uma análise de sensibilidade.

O facto de não se terem considerado os processos que transformam a matéria-prima adquirida em componentes, para o caso dos componentes normalizados e não normalizados, deve-se à existência de uma enorme complexidade na recolha de informação e seu respetivo tratamento. Este esforço não se revelou importante no presente caso de estudo, uma vez que se trata de um estudo comparativo. Contudo, a contabilização mássica dos componentes adquiridos é bastante importante, já que permite perceber a contribuição que estas podem ter no ciclo de vida global.

3.4 Método de Cálculo de Impacte Ambiental

Neste estudo a metodologia de avaliação de impactes utilizada corresponde ao método *Eco-Indicator 99*. Este método, orientado por categorias de dano, foi desenvolvido pela Pré Consultants e encontra-se integrado no *software* que foi utilizado neste estudo, o *SimaPro 7.3.3*.

No *Eco-Indicator 99* as três categorias de dano são utilizadas da seguinte forma (Goedkoop, Spriensma 2001):

- Saúde Humana – assenta no princípio de que todos os seres humanos, no presente e futuro, não deverão estar sujeitos a deficiências, mortes prematuras ou doenças transmitidas ambientalmente.
- Ecossistema – assenta no princípio de que espécies não-humanas não devem sofrer mudanças disruptivas na distribuição geográfica das suas populações;
- Recurso – tem por base a ideia de que a natureza contém recursos, que são essenciais para a sociedade humana, e que devem estar disponíveis também para as gerações futuras.

Tendo em conta estas três categorias de dano, a metodologia seguida pelo *Eco-Indicator 99* implementa a ligação entre os resultados do inventário e os resultados dos impactes ambientais com fluxos semelhantes. Durante esta fase os resultados do inventário são classificados em categorias de impacto de nível médio, também chamadas categorias de *midpoint*. Para cada resultado do inventário, é então calculado um valor indicador por categoria de *midpoint*, caracterizando o resultado do inventário de acordo com sua contribuição específica para o impacto comum. O termo “ponto médio” indica que este está localizado numa posição intermédia de impacto, entre os resultados do inventário e da categoria de danos (muitas vezes referida como *endpoints*) (Sonnemann, et al., 2004).

A Figura 20 apresenta o esquema geral da metodologia seguida pelo *Eco-Indicator 99*, que liga todos os tipos de resultados do inventário através das categorias *midpoint* tradicionais às categorias de danos (*endpoints*).

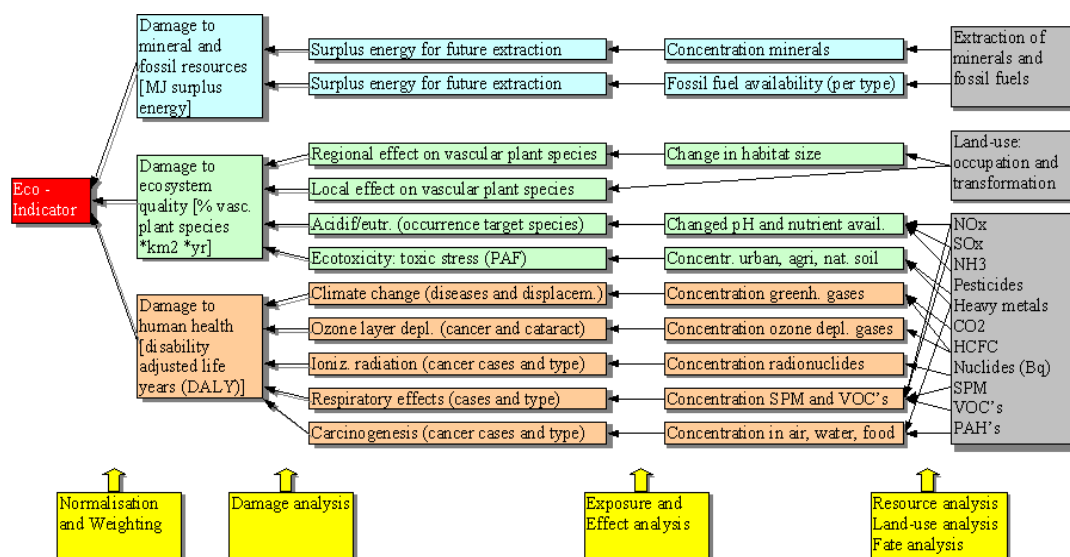


Figura 20 – Representação do modelo das categorias de dano do *Eco-Indicator 99* (Goedkoop, Sprinsma 2001)

A esta agregação de resultados em categorias é chamada fase de classificação. O próximo passo representa a etapa de caracterização, em que os parâmetros de inventário são multiplicados por fatores de equivalência, de acordo com seu efeito potencial em cada categoria de impacto. Os valores obtidos para os parâmetros incluídos em cada categoria de impacto são então somados e o resultado final é obtido.

Tendo em conta o ponto de vista de cada grupo, são então atribuídos fatores de ponderação diferentes aos resultados. Resumindo as características mais importantes dos três grupos utilizados pelo *Eco-Indicator 99* que influenciam os fatores de ponderação são (Goedkoop, Sprinsma 2001):

- Individualistas – livres de fortes ligações ao próprio e restantes grupos. Neste ambiente todos os limites são provisórios e sujeitos a negociação. Embora sejam relativamente livres relativamente aos outros, muitas vezes são suspeitos de controlar os outros.
- Igualitários – têm uma forte ligação com o próprio grupo e uma fraca ligação com os restantes grupos. Neste ambiente não há diferenciação de funções internas e as relações entre os membros do grupo são muitas vezes ambíguas, de tal forma que os conflitos podem ocorrer facilmente.
- Hierárquicos – têm uma ligação forte ao próprio grupo e restantes grupos. Neste ambiente as pessoas tanto controlam os outros como são objeto de controlo por terceiros. Esta hierarquia cria um alto grau de estabilidade do grupo.

Para cada uma destas perspetivas o *Eco-Indicator 99* atribui valores típicos conforme se segue.

Na versão individualista, só as relações causa efeito comprovadas foram incluídas. A preferência por relações comprovadas é o que leva os individualistas a considerar cada limite como negociável. No entanto, se devidamente comprovado, um individualista também aceita que um limite não é negociável. Desta forma, e como dificilmente se prova que os efeitos a longo prazo não são corrigidos pela evolução da ciência e da sociedade, os mesmos não são tidos em conta. Para questões de saúde humana, ponderações de idade são utilizadas uma vez que na perspetiva individualista uma pessoa é mais valorizada na idade entre 20 e 40 anos (Goedkoop, Spriensma 2001).

Na versão hierárquica, factos que são suportados por entidades científicas ou políticas com reconhecimento suficiente são tidos em conta. A atitude hierárquica é bastante comum na comunidade científica, bem como entre os decisores políticos. Um exemplo típico é a grande aceitação das diretrizes do IPCC para a mudança climática (Goedkoop, Spriensma 2001).

Na versão igualitária, o princípio da precaução é constantemente utilizado. Os igualitários não aceitam as orientações de organizações científicas ou políticas internacionalmente aceites. Do mesmo modo uma perspetiva de longa duração é usada, pois os igualitários não aceitam que futuros problemas possam ser evitados (Goedkoop, Spriensma 2001).

Tendo em conta esta caracterização, neste estudo será utilizada a perspetiva Hierarchist (H). A escolha deste método prendeu-se fundamentalmente com a sua aproximação à perspetiva em que vivemos, e para a qual faz sentido simular o cada um dos equipamentos, no que respeita à identificação de impactes ambientais.

A Tabela 4 apresenta uma breve comparação das três perspetivas enunciadas. Os parâmetros de normalização e os fatores de peso para os vários métodos, podem ser analisados na Tabela 5.

From midpoint impact category:	Perspective	H	E
climate change	full adaptation: no cardiovascular risks no malnutrition low-range RR for natural disasters	mean adaptation: mean relative risk for all mechanisms no Diarrhoea: if GDP >6000 \$/yr	no adaptation: high cardiovascular risks high risk for disasters high risk for malnutrition no dispersal
climate change	dispersal of species assumed	dispersal	no dispersal
ozone depletion	–	–	–
terrestrial acidification	20-yr time horizon	100 yr	500 yr
freshwater eutrophication	NA	NA	NA
human toxicity	–	–	–
photochemical oxidant formation	–	–	–
particulate matter formation	–	–	–
terrestrial ecotoxicity	–	–	–
freshwater ecotoxicity	–	–	–
marine ecotoxicity	–	–	–
ionising radiation	–	–	–
land occupation	Positive effects of land expansion are considered	Fragmentation problem considered	No positive effects of land expansion considered
land transformation	Maximum restoration time is 100 yr	Mean restoration times	Maximum restoration times
water depletion	NA	NA	NA
mineral resource depletion	–	–	–
fossil fuel depletion	time horizon – 2030	For coal: time horizon – 2030 For all other fossils: 2030-2080	For coal: time horizon – 2030 For all other fossils: 2030-2080

Tabela 4 - Perspetivas de impacte ambiental (Goedkoop, Heijungs et al. 2009)

	Hierarchist (EI'99 H/A)		Egalitarian (EI'99 E/E)		Individualist (EI'99 I/I)	
	Normalisation	Weights	Normalisation	Weights	Normalisation	Weights
Human Health	0.0154 DALYs(0,0)	40%	0.0155 DALYs(0,0)	30%	0.00825 DALYs(0,1)	55%
Ecosystem Quality	5130 PDF*m2*a	40%	5130 PDF*m2*a	50%	4510 PDF*m2*a	25%
Resources	8410 MJ	20%	5940 MJ	20%	150 MJ	20%

Tabela 5 - Normalização e pesos das várias perspetivas (Frischknecht, Jungbluth et. Al. 2007)

Na Tabela 5 encontra-se os valores da normalização e dos respetivos pesos dados a cada um dos sistemas finais (*Human Health*, *Ecosystem Quality*, *Resources*), sendo a perspetiva H, a definida para este estudo.

Após a escolha do método e da perspetiva, torna-se possível obter os parâmetros finais de interpretação, dados em Pontos de Impacte (Pt) sobre o qual se podem tecer interpretações.

3.5 Equipamento do Estudo e Unidade Funcional

O equipamento existente destina-se à movimentação de cargas através da sua elevação. Esta elevação é realizada através de um guincho. Posteriormente existe o movimento de translação de modo a colocar a carga onde é pretendida.

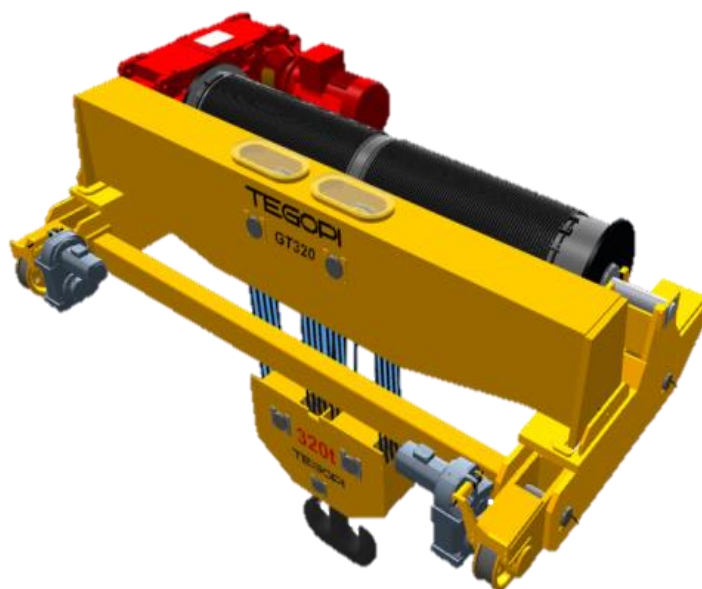


Figura 21 – Sistema de Elevação de 320 Ton da TEGOPI SA em 3D

Numa análise do ciclo de vida, os sistemas de produtos são avaliados numa base funcional equivalente [2,3]. A unidade funcional normaliza os dados com base no uso equivalente e serve de referência para relacionar as entradas e saídas dos diferentes processos que compõem o ciclo de vida, bem como de termo de comparação dos resultados obtidos pelo estudo. Desta forma, a unidade funcional definida para este caso de estudo foi a Produção e Uso de um Sistema de Elevação de Grande porte com capacidade máxima de 320 Ton durante 20 anos.

3.6 Fase de Uso – Energia Consumida

De modo obter um valor energético para o consumo ao longo do ciclo de vida do equipamento, foi necessário transpor o cenário acima definido de acordo com a tipologia de funcionamento do equipamento. Este foi definido de acordo com o seu funcionamento típico, conforme pode ser visto na Tabela 6:

Ciclo de Vida (Anos):	20
Horas de trabalho/ano nos primeiros 5 anos:	100
Horas de trabalho/ano nos restantes 15 anos:	10
Horas trabalho / ano:	33

Tabela 6 – Funcionamento do equipamento na indústria em que opera

Além do funcionamento típico foi necessário definir um perfil de funcionamento do equipamento por forma a poder-se realizar uma estimativa do consumo energético durante o seu ciclo de vida. O perfil de funcionamento adotado encontra-se na Tabela 7 e foi definido de acordo com as cargas típicas do equipamento.

Perfil Funcionamento	Movimento de Elevação	Carga do movimento	Frequência de utilização (h/ciclo vida)
		> 200 t	6,6
		100 t a 200 t	125,4
		< 100 t	528
	Movimento de Translação	Praticamente Independente do Peso	660

Tabela 7 – Perfil de Funcionamento definido para o ciclo de vida adotado

De modo a extrapolar a estimativa para a situação de funcionamento definida quer através do perfil de funcionamento, quer através do tipo de funcionamento anual do equipamento foram realizados os cálculos energéticos para a situação laboral durante os 20 anos definidos para o ciclo de vida, obtendo-se os valores da Tabela 8. Estes valores caracterizam a fase de uso do equipamento.

Perfil Funcionamento	Movimento de Elevação	Carga do movimento	Consumo do Motor (kWh)
		> 200t	534,6
		100 t a 200 t	5078,7
		< 100t	9504
	Movimento de Translação	Praticamente Independente do Peso	3696

Tabela 8 – Energia Consumida durante o Ciclo de Vida estimada de acordo com o Perfil de Funcionamento da Tabela 7

3.7 Avaliação do Ciclo de Vida do Equipamento (LCA)

Os resultados de análise do ciclo de vida, foram feitos utilizando o *software SimaPro 7.3.3*, suportado pela base de dados *EcoInvent 2.1*, como referido anteriormente. Apesar de se ter realizado um vasto conjunto de iterações durante a fase de projeto, os dois conceitos que proporcionaram o estudo de LCA e onde se aplicou *EcoDesign* foram os denominados de Conceito A e B.

3.7.1 LCA do Conceito A

O Conceito A trata-se de um Sistema de Elevação de Grande Porte com a principal destaque no fato de estar munido de 2 tambores e 2 moto-redutores na elevação. Na Figura 22, encontra-se um desenho 3D do conceito desenvolvido em projeto.

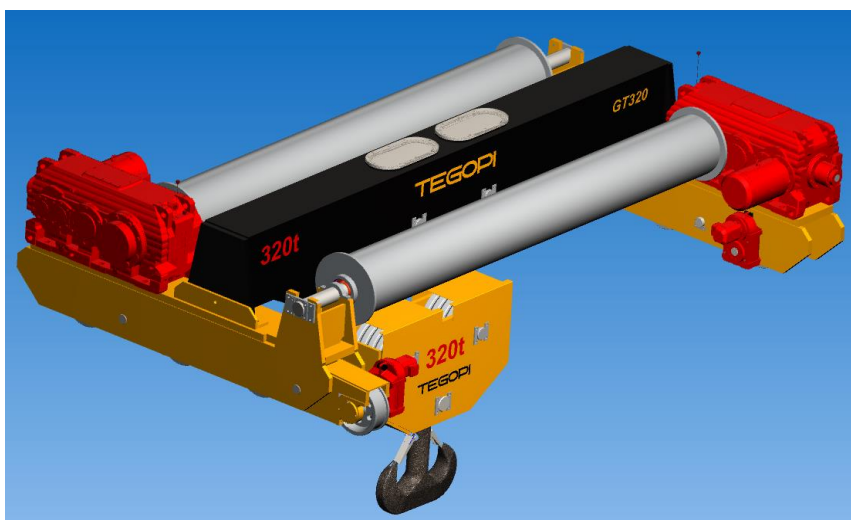


Figura 22 – Sistema de Elevação de Grande Porte – Conceito A

3.7.1.1 Caracterização do Conceito A

O conceito A apresenta as seguintes características, Tabela 9 e Tabela 10.

Caraterização Geral – Conceito A	
Capacidade de carga	320 Toneladas
Bitola	5800 mm
Número de Rodas	8
Peso	aprox. 36 Toneladas
Dimensões aproximadas	6800 mm x 3800 mm x 3850 mm

Tabela 9 – Caracterização Geral do Conceito A

Caraterização Energética – Conceito A	
Tipo de Alimentação	Trifásica (3PH+PE) – 400V/50Hz
Potência Total Instalada	2x45 + 8 kW
Potência Instalada - Elevação	2x45 kW
Potência Instalada – Translação	8 kW
Sistema de comando e controlo – Conceito A	
Sistema de Comando	Comando via rádio com botões de 2 níveis de pressão
Tipo de controlo	Botões de pressão de 2 níveis
Tecnologia controlo de movimentos – Conceito A	
Elevação	Por variador de frequência
Translação	Por variador de frequência

Tabela 10 – Caracterização do Sistema de Elevação protótipo de 320 Ton da TEGOPi SA – Conceito A

3.7.1.2 Resumo do Inventário do Conceito A

Seguidamente, procedeu-se ao cálculo dos impactes ambientais que, resumidamente, foram baseados nos dados apresentados na Tabela 11, onde se considerou um ciclo de vida de 20 anos:

Fase do Ciclo Vida	Conceito A	
Materiais Primas e Produção	Quantidade de Componentes	Analisados: 127 Componentes / aprox. 36023 Kg
	Materiais	Massa analisada individualmente por componente
	Processos	Massa removida e processo analisado individualmente
Transporte para Produção	Transporte	Através da localização geográfica do fornecedor dos vários componentes
Transporte para Fase Uso	Transporte	Através de estimativa utilizando o número de unidades vendas e localização do principal cliente
Uso	Energia	Através de estimativa utilizando o perfil de funcionamento
Fim de Vida	Transporte	Reutilizado: Mercado de segunda mão* * - Estimativa obtida através de análise do projeto PRODUTECH PTI PPS2 At2.2

Tabela 11 – Resumo dos dados considerados para cálculo do ciclo de vida do equipamento

3.7.1.3 Resultado do LCA do Conceito A

Os resultados obtidos, conforme referido anteriormente, foram feitos utilizando o software *SimaPro* 7.3.3. utilizando a base de dados *EcoInvent* 2.1 e o método de cálculo *EcoIndicator* 99 H/A.

Seguidamente, Figura 23, encontra-se a árvore de produto obtida através do *SimaPro* aplicando um critério de exclusão de 1 % onde se obteve como visíveis 119 de 2073 blocos para o Conceito A.

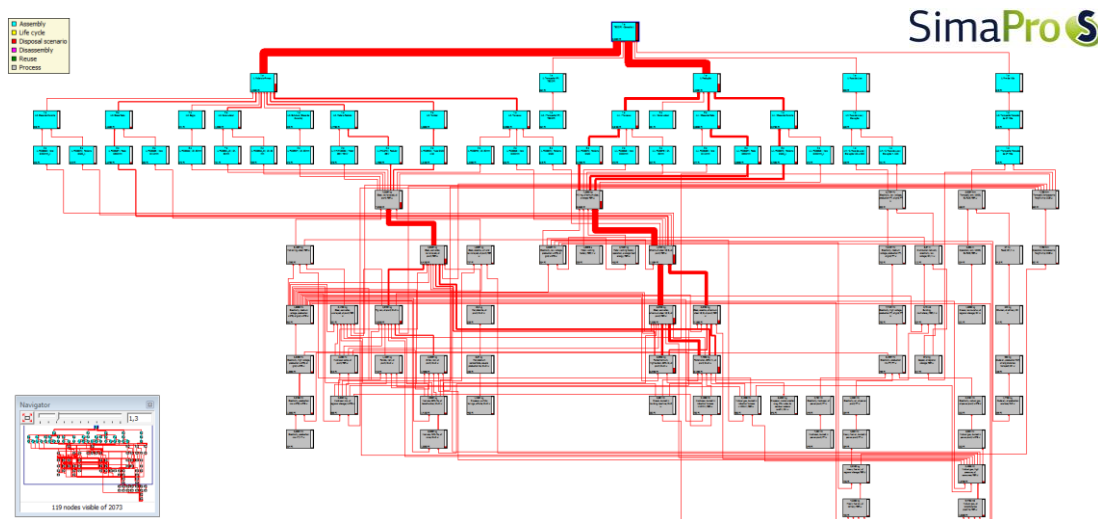


Figura 23 – Árvore do Produto do Conceito A de acordo com os impactos ambientais obtidos na avaliação do Ciclo de Vida utilizando o software *SimaPro*

Em termos de impacto global, o *EcoIndicator* 99 H/A avalia todos os parâmetros dando uma classificação final em Pontos de Impacte (Pt). Seguidamente, Figura 24, encontram-se os resultados obtidos para o Conceito A por fase do Ciclo de Vida.

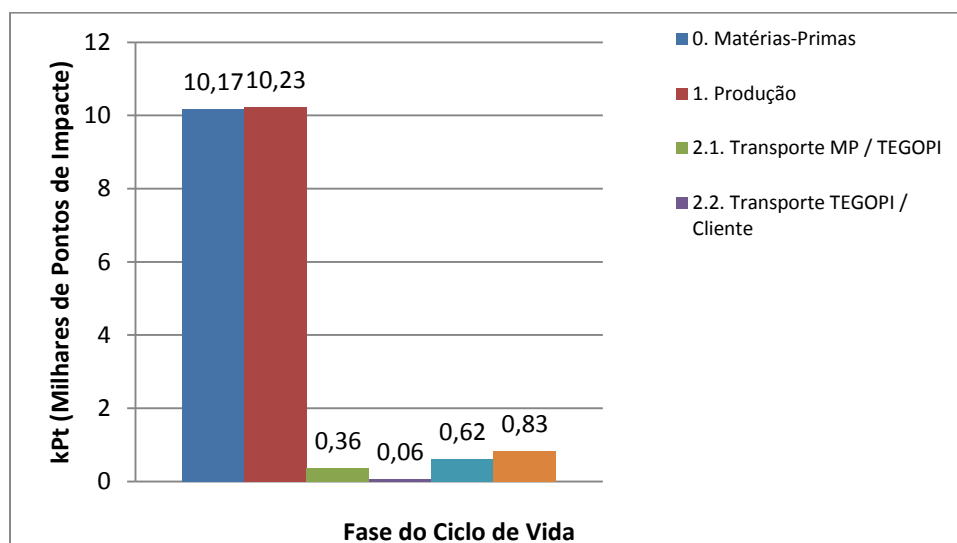


Figura 24 – Resultado da Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) nas várias fases

Na Tabela 12, encontra-se um resumo mais pormenorizado dos resultados obtidos através da Avaliação do Ciclo de Vida, nomeadamente a contribuição dos principais elementos quer na fase onde se encontram, quer numa perspetiva global do ciclo de vida.

0. Matérias-Primas	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
A.0. Bloco de Gancho	0,93	9,09%	4,15%
A.0. Bloco Roda	1,66	16,28%	7,43%
A.0. Bogie	0,34	3,35%	1,53%
A.0. Carro Lateral	1,29	12,70%	5,80%
A.0. Estrutura (Bloco de Gancho)	0,31	3,04%	1,39%
A.0. Gancho	0,14	1,36%	0,62%
A.0. Motor e Redutor	1,77	17,40%	7,94%
A.0. Tambor	1,35	13,31%	6,08%
A.0. Travessa	2,39	23,48%	10,72%
1. Produção	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
A.1. Travessa	3,51	34,32%	15,75%
A.1. Tambor	0,21	2,09%	0,96%
A.1. Estrutura (Bloco Gancho)	0,09	0,91%	0,42%
A.1. Carro Lateral	0,39	3,82%	1,75%
A.1. Bogie	0,1	1,02%	0,47%
A.1. Bloco de Roda	2,85	27,84%	12,78%
A.1. Bloco de Gancho	3,07	30,00%	13,77%
2.1. Transporte MP / TEGOPI	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
A.2. - 1. Transporte MP / TEGOPI	0,145	39,67%	0,65%
A.2. - 2. Transporte MP / TEGOPI	0,002	0,45%	0,01%
A.2. - 3. Transporte MP / TEGOPI	0,006	1,70%	0,03%
A.2. - 5. Transporte MP / TEGOPI	0,212	58,17%	0,95%
2.2. Transporte TEGOPI / Cliente	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
A.2. - 1. Transporte TEGOPI / Cliente	0,06	100,00%	0,28%
3. Transporte Fim de Vida	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
A.3. - Transporte Mercado de 2ª Mão	0,62	100,00%	2,78%
4. Fase de Uso	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
A.4. - 1. Fase de Uso Elevação > 200t	0,024	2,84%	0,11%
A.4. - 2. Fase de Uso Elevação 100 a 200t	0,225	27,00%	1,01%
A.4. - 3. Fase de Uso Elevação < 100t	0,421	50,52%	1,89%
A.4. - Fase de Uso Translação	0,164	19,65%	0,73%

Tabela 12 – Resumo dos resultados obtidos na Avaliação do Ciclo de Vida do Conceito A (critério de exclusão de 1%)

Na tabela seguinte, Tabela 13, encontra-se a contribuição de cada fase, em percentagem, no Ciclo de Vida.

	% Impacte no Total
Matérias-Primas	45,66%
Produção	45,91%
Transporte MP / TEGOPI SA	1,64%
Transporte TEGOPI SA/ Cliente	0,28%
Transporte Fim de Vida	2,78%
Fase de Uso	3,74%

Tabela 13 – Contribuição de cada fase no Ciclo de Vida do Conceito A

Pretende-se, através dos resultados obtidos anteriormente, analisar os principais resultados obtidos através da avaliação do ciclo de vida (LCA) realizado ao primeiro conceito de equipamento projetado (Figura 22), por forma a identificar potenciais melhorias a implementar num novo conceito seguindo a metodologia de EcoDesign apresentada na Figura 17.

3.7.2 LCA do Conceito B

O Conceito B surgiu após análise dos resultados obtidos no Conceito A. De acordo com a metodologia de *EcoDesign* proposta, estabeleceram-se novas metas para o conceito a desenvolver (B), apresentadas seguidamente:

- Redução do número de tambor e respetivo moto-reductor na elevação;
- Redução do consumo de matérias-primas;
- Redução do peso global do equipamento;
- Redução do número de componentes;
- Aumentar o fabrico de componentes internamente;
- Redução do Impacte Ambiental do Ciclo de Vida global.

Na Figura 25, encontra-se um desenho 3D do conceito B desenvolvido com as metas estabelecidas acima.

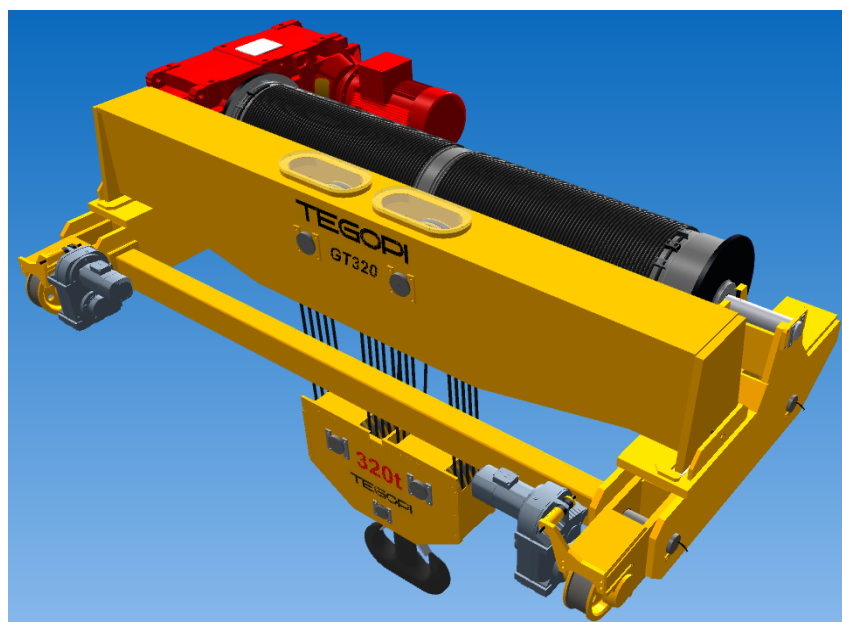


Figura 25 - Sistema de Elevação de Grande Porte – Conceito B

3.7.2.1 Caracterização do Conceito B

O conceito B apresenta as seguintes características, Tabela 14 e Tabela 15.

Caraterização Geral – Conceito B	
Capacidade de carga	320 Toneladas
Bitola	5800 mm
Número de Rodas	8
Peso	aprox. 32 Toneladas
Dimensões aproximadas	6800 mm x 3800 mm x 3850 mm

Tabela 14 – Caracterização Geral do Conceito B

Caraterização Energética – Conceito B	
Tipo de Alimentação	Trifásica (3PH+PE) – 400V/50Hz
Potência Total Instalada	90 + 8 kW
Potência Instalada - Elevação	90 kW
Potência Instalada – Translação	8 kW
Sistema de comando e controlo – Conceito B	
Sistema de Comando	Comando via rádio com botões de 2 níveis de pressão
Tipo de controlo	Botões de pressão de 2 níveis
Tecnologia controlo de movimentos – Conceito B	
Elevação	Por variador de frequência
Translação	Por variador de frequência

Tabela 15 – Caracterização do Sistema de Elevação protótipo de 320 Ton da TEGOPI SA – Conceito B

3.7.2.2 Resumo do Inventário do Conceito B

Seguidamente, procedeu-se ao cálculo dos impactes ambientais que, resumidamente, foram baseados nos dados apresentados na Tabela 16, onde se considerou um ciclo de vida de 20 anos:

Fase do Ciclo Vida	Conceito B	
Materiais Primas e Produção	Quantidade de Componentes	Analisados: 121 Componentes / aprox. 31776 Kg
	Materiais	Massa analisada individualmente por componente
	Processos	Massa removida e processo analisado individualmente
Transporte para Produção	Transporte	Através da localização geográfica do fornecedor dos vários componentes
Transporte para Fase Uso	Transporte	Através de estimativa utilizando o número de unidades vendas e localização do principal cliente
Uso	Energia	Através de estimativa utilizando o perfil de funcionamento
Fim de Vida	Transporte	Reutilizado: Mercado de segunda mão* * - Estimativa obtida através de análise do projeto PRODUTECH PTI PPS2 At2.2

Tabela 16 - Resumo dos dados considerados para cálculo do ciclo de vida do equipamento

3.7.2.3 Resultado do LCA do Conceito B

Os resultados obtidos, conforme referido anteriormente, foram feitos utilizando o *software SimaPro 7.3.3.* utilizando a base de dados *EcoInvent 2.1* e o método de cálculo *EcoIndicator 99 H/A*.

Seguidamente, Figura 23, encontra-se a árvore de produto obtida através do *SimaPro* aplicando um critério de exclusão de 1 % onde se obteve como visíveis 124 de 2104 blocos para o Conceito B.

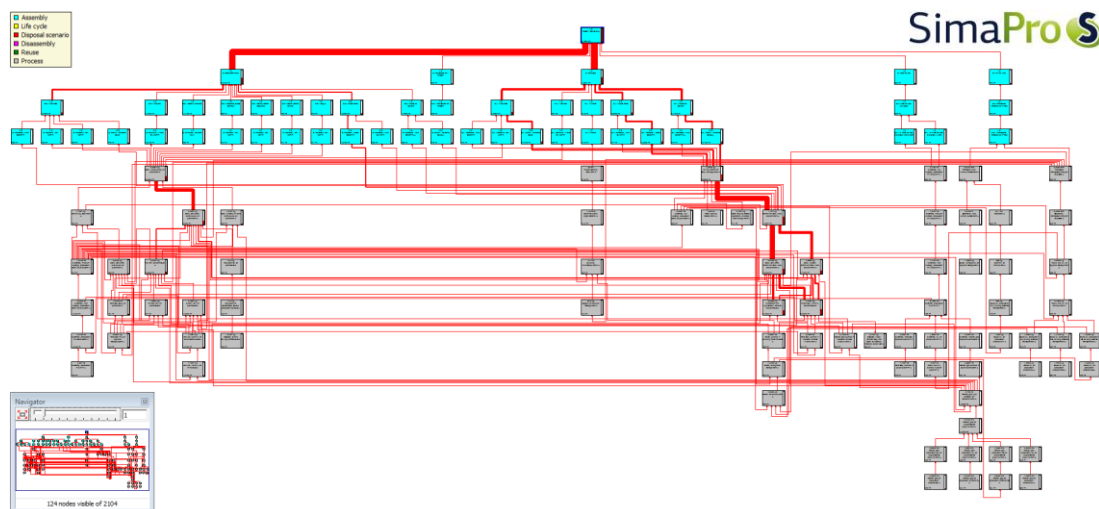


Figura 26 - Árvore do Produto do Conceito B de acordo com os impactos ambientais obtidos na avaliação do Ciclo de Vida utilizando o *software SimaPro*

Em termos de impacto global, o *EcoIndicator 99 H/A* avalia todos os parâmetros dando uma classificação final em Pontos de Impacte (Pt). Seguidamente, Figura 27, encontram-se os resultados obtidos para o Conceito B por fase do Ciclo de Vida.

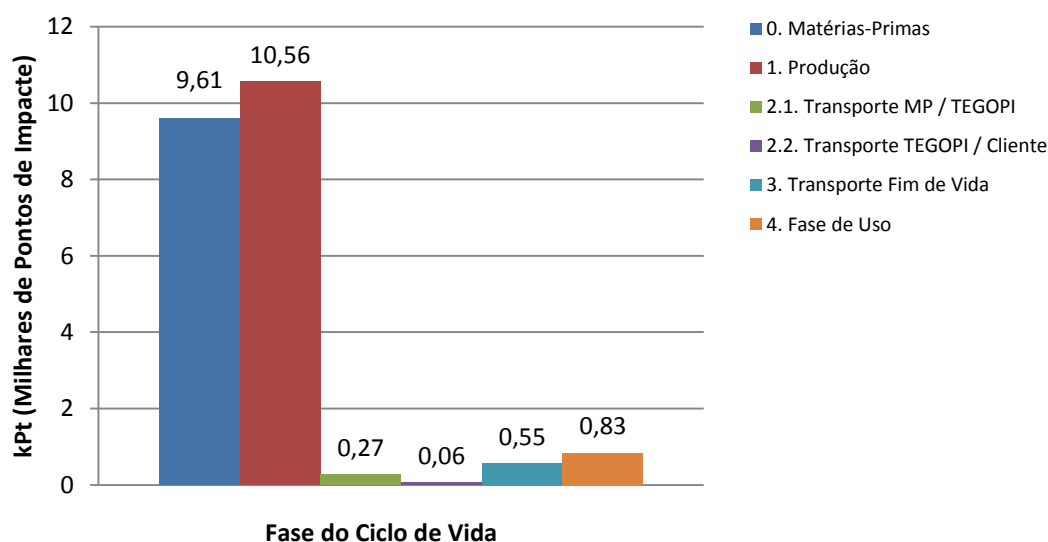


Figura 27 - Resultado da Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) nas várias fases

Na Tabela 17, encontra-se um resumo mais pormenorizado dos resultados obtidos através da Avaliação do Ciclo de Vida, nomeadamente a contribuição dos principais elementos quer na fase onde se encontram, quer numa perspetiva global do ciclo de vida.

Matérias-Primas	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
B.0. - Travessa	2,6409	27,49%	12,08%
B.0. - Tambor	1,185386	12,34%	5,42%
B.0. - Motor e Redutor	1,108604	11,54%	5,07%
B.0. - Gancho	0,138038	1,44%	0,63%
B.0. - Estrutura (Bloco Gancho)	0,308904	3,22%	1,41%
B.0. - Carro Lateral Esquerdo	0,517838	5,39%	2,37%
B.0. - Carro Lateral Direito	0,46229	4,81%	2,11%
B.0. - Bogie	0,342423	3,56%	1,57%
B.0. - Bloco Roda	1,655744	17,24%	7,57%
B.0. - Bloco de Gancho	1,246502	12,98%	5,70%
Produção	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
B.1. - Travessa	3,53	33,45%	16,15%
B.1. - Tambor	0,53	4,99%	2,41%
B.1. - Pintura	0,03	0,26%	0,13%
B.1. - Estrutura (Bloco Gancho)	0,09	0,89%	0,43%
B.1. - Carro Lateral Esquerdo	0,16	1,48%	0,72%
B.1. - Carro Lateral Direito	0,14	1,33%	0,64%
B.1. - Bogie	0,1	0,98%	0,47%
B.1. - Bloco Roda	2,85	26,97%	13,02%
B.1. - Bloco de Gancho	3,11	29,47%	14,23%
B.1. - Soldaduras	0,02	0,17%	0,08%
2.1. Transporte MP / TEGOPI	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
B.2. - 1. Transporte MP / TEGOPI	0,128	47,65%	0,59%
B.2. - 2. Transporte MP / TEGOPI	0,001	0,54%	0,01%
B.2. - 3. Transporte MP / TEGOPI	0,006	2,31%	0,03%
B.2. - 4. Transporte MP / TEGOPI	0,0002	0,08%	0,00%
B.2. - 5. Transporte MP / TEGOPI	0,133	49,42%	0,61%
2.2. Transporte TEGOPI / Cliente	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
B.2. - 1. Transporte TEGOPI / Cliente	0,06	100,00%	0,26%
3. Transporte Fim de Vida	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
B.3. - Transporte Mercado de 2ª Mão	0,55	100,00%	2,50%
4. Fase de Uso	Total (kPt)	% de Impacte na Fase	% de Impacte no Ciclo Vida
B.4. - 1. Fase de Uso Elevação > 200t	0,024	2,84%	0,11%
B.4. - 2. Fase de Uso Elevação 100 a 200t	0,225	27,00%	1,03%
B.4. - 3. Fase de Uso Elevação < 100t	0,421	50,52%	1,92%
B.4. - Fase de Uso Translação	0,164	19,65%	0,75%

Tabela 17 - Resumo dos resultados obtidos na Avaliação do Ciclo de Vida do Conceito B (critério de exclusão de 1%)

Na tabela seguinte, Tabela 18, encontra-se a contribuição de cada fase, em percentagem, no Ciclo de Vida.

	% Impacte no Total
Matérias-Primas	47,56%
Produção	52,26%
Transporte MP / TEGOPI SA	1,33%
Transporte TEGOPI SA / Cliente	0,28%
Transporte Fim de Vida	2,70%
Fase de Uso	4,12%

Tabela 18 – Contribuição de cada fase no Ciclo de Vida do Conceito A

3.8 Conclusões

A utilização de metodologias de EcoDesign no presente estudo, levou a que se obtivessem os seguintes resultados para o conceito A e B.

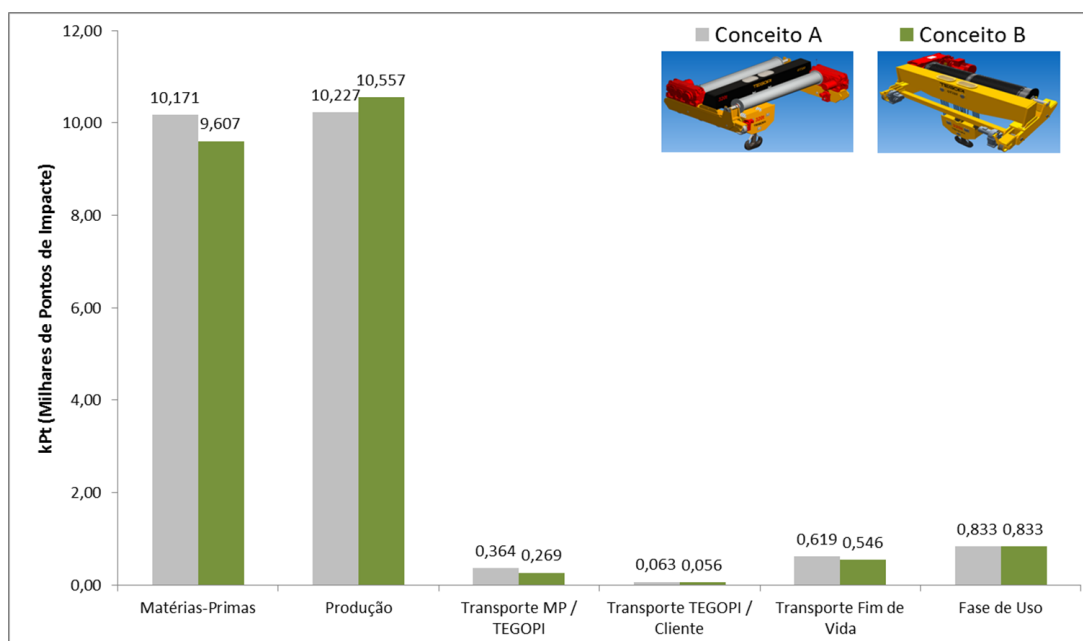


Figura 28 – Gráfico de comparação entre o Conceito A e B durante as suas fases do Ciclo de Vida

Analisando em maior detalhe os resultados através da Tabela 19, conclui-se que de acordo com as metas propostas para o Conceito B se conseguiu:

- Redução do peso global do equipamento em cerca de 4 toneladas;
- Redução para 1 tambor e respetivo moto-reductor, contribuindo para a redução do número de componentes e respetivo peso do Conceito B;
- Redução do impacte ambiental nos transportes devido a se ter baixado substancialmente o peso do Conceito B;
- Redução no impacte ambiental global do Conceito B face ao Conceito A, ou seja equipamento mais ecoeficiente;
- Redução do número de componentes, em especial de componentes com necessidades de lubrificação, o que se traduz em menos consumo de óleo lubrificante;
- Devido ao fato de a TEGOPI SA ter como objetivo o aumento da produção do maior número de componentes internamente, estando menos dependentes do mercado, por forma a dar uma resposta mais expedita aos pedidos dos clientes, uma vez que nas dimensões dos componentes em causa se torna num processo moroso, fez com que o impacte ambiental da fase de produção no Conceito B ter aumentado. Contudo, salienta-se que devido ao aumento dos componentes a ser produzidos internamente, se obteve um maior detalhe dos respetivos processos de fabrico, algo que não foi conseguido no Conceito A. Desta forma, o estudo desfavorece mais o Conceito B, que mesmo assim, obteve melhor resultado global que o Conceito A, validando toda a análise efetuada em termos de EcoDesign e Ecoeficiência, nomeadamente os resultados obtidos são tomados como conservadores.

	Impacte Conceito A (kPt)	Impacte Conceito B (kPt)	Ganho+ / Perda-
Matérias-Primas	10,171	9,607	5,55%
Produção	10,227	10,557	-3,23%
Transporte MP / TEGOPI SA	0,364	0,269	26,26%
Transporte TEGOPI SA / Cliente	0,063	0,056	11,79%
Transporte Fim de Vida	0,619	0,546	11,79%
Fase de Uso	0,833	0,833	0,00%
Total	22,28	21,87	1,84%

Tabela 19 – Resumo da comparação entre o Conceito A e B durante as suas fases do Ciclo de Vida

Em termos de solução técnica, a alternativa do conceito desenvolvido de implementação de dois tambores em vez de apenas um, origina alterações estruturais, dificuldades técnicas e de mercado de parte a parte. A Tabela 20 apresenta de forma sucinta algumas vantagens e desvantagens dos diferentes conceitos.

	Conceito A		Conceito B	
	Vantagens	Desvantagens	Vantagens	Desvantagens
Moto-Redutor	- Menores Dimensões	- 2 Unidades	- 1 Unidade	- Maiores Dimensões
Tambor	- Mais fácil adquirir mercado - Distribuição do cabo por 2 tambores	- 2 Unidades	- Possibilidade fabrico próprio	- Maior Dimensão - Dificuldade adquirir mercado
Técnica	- Componentes menores dimensões	- Raio Enrolamento Cabo severo	- Raio enrolamento Cabo adequado	- Binário acionamento Tambor Superior
Arquitetura	- Equipamento Simétrico	- Menos compacto	Mais compacto	- Binário Redutor mais elevado

Tabela 20 – Vantagens e desvantagens do Conceito A e B

Como referido anteriormente, os principais aspetos que favoreceram a implementação do Conceito B em detrimento do Conceito A, além dos apresentados anteriormente, prendem-se com a possibilidade de um sistema mais compacto, com todas as vantagens inerentes a este fato. Destaca-se ainda a singularidade do sistema de acionamento da elevação que, para além de ser mais favorável a nível de custos do equipamento e de manutenção, também facilita o controlo eficaz dos movimentos sem necessidades de sincronização de equipamentos paralelos.

De referir ainda que, a equipa de projeto teve em conta que os acionamentos são importantíssimos na eficiência energética da indústria, pois consomem grande parte da energia utilizada nos processos industriais. Durante a fase de uso, a introdução de um sistema de regeneração de energia potencial gravítica em energia elétrica, permite recuperar parte da energia perdida nos movimentos de descida da carga, contribuindo para a eficiência energética e ambiental do sistema. Neste sentido, a gama criada no âmbito do projeto Guincho Aberto contempla a incorporação do sistema regenerativo.

Pelas parcerias comerciais criadas e pela seleção de base de todos os acionamentos, sistema elétrico e de segurança, criaram-se as condições para implementação da regeneração de energia como um simples opcional modular a incorporar sempre que técnica e comercialmente se justifique. Efetivamente, numa situação em que o sistema de Elevação de Grande Porte tenha um grupo de trabalho elevado, estima-se que acima de 8 horas diárias, a incorporação do sistema de regeneração da energia potencial gravítica em energia elétrica tornar-se-á proveitoso ao nível económico e ambiental, uma vez que se consegue reduções substanciais do consumo energético. Da análise do ciclo de vida conclui-se ainda que, mesmo para equipamentos com mais horas de trabalho, em termos de impacto ambiental, pelos resultados obtidos explícitos na Figura 28 da análise de Ecodesign, é expetável que a fase de uso continue a ter uma

contribuição baixa face às outras etapas, pelo que a concentração de recursos na otimização do projeto e da fase de produção se revela a escolha mais acertada.

3.9 Referências

- [1] Althaus H-J, Christian B, Gabor D, Roberto D, Rolf F, Stefanie H, et al. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories - Ecoinvent Center, 2009.
- [2] Instituto Português da Qualidade. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e enquadramento - (ISO 14040:2006). NP EN ISO 14040:2008. Portugal: IPQ; 2008.
- [3] Instituto Português da Qualidade. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e linhas de orientação - (ISO 14044:2006). NP EN ISO 14044:2010. Portugal: IPQ; 2010.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A TEGOPI SA, com o projeto Guincho Aberto, realizou o desenvolvimento de um conceito inovador de Sistema de Elevação com o suporte da Equipa INEGI de Desenvolvimento de Produto e Sistemas, através do uso de ferramentas de desenvolvimento de produto avançadas relacionadas com a Modularidade e o *Ecodesign*, posicionando-se desta forma num patamar mais elevado a nível de desenvolvimento de produto e tecnologias relativamente à concorrência internacional.

Os resultados do projeto, além da forte vertente de incorporação de práticas avançadas de desenvolvimento de equipamentos complexos e assim aumentar o nível de capacitação da Equipa de Engenharia TEGOPI SA, terá como consequência um efeito direto na capacidade diferenciação da empresa e na incorporação de valor e tecnologia na sua gama de produtos, potenciando naturalmente a capacidade exportadora da TEGOPI SA.

Em particular, permite à empresa enfrentar com capacidades reforçadas as empresas do sector, onde existe um número muito limitado de grandes fornecedores no mercado capazes de produzir equipamento desta dimensão e gama de capacidades de elevação.

**INEGI**

Campus da FEUP
Rua Dr. Roberto Frias, 400
4200-465 Porto
PORTUGAL

✉ inegi@inegi.up.pt
☎ + 351 229578710
📠 + 351 229537352



driving innovation *since 1986*

www.inegi.up.pt

U. PORTO